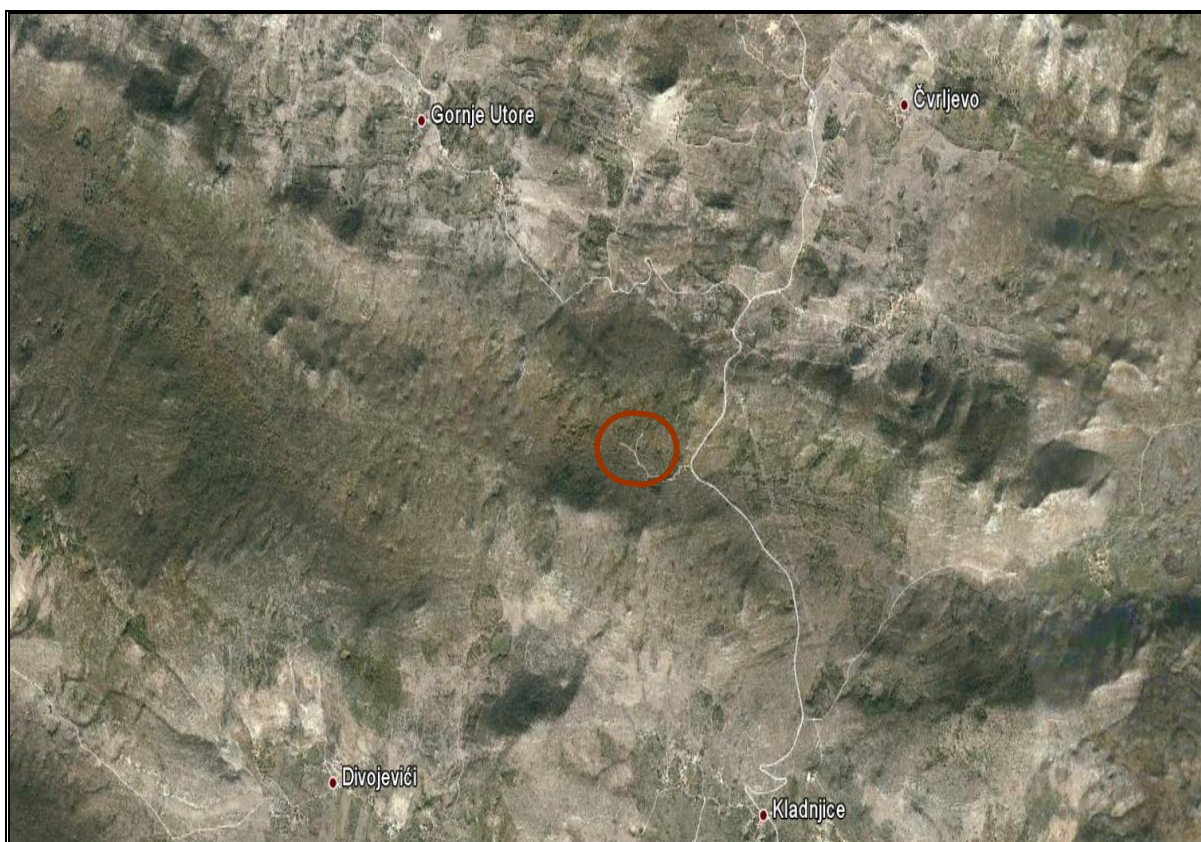


SEIZMIČKO MIKROZONIRANJE

SEIZMOLOŠKA I SEIZMOTEKTONSKA STUDIJA ŠIRE OKOLICE
LOKACIJE ŽUPANIJSKOG CENTRA ZA GOSPODARENJE
OTPADOM U OPĆINI LEČEVICA



Zagreb, kolovoz 2010. godine

NARUČITELJ: **Regionalni centar čistog okoliša d.o.o., Split, Bihaka 1**

NAZIV PROJEKTA: **Seizmičko mikrozoniranje - seizmološka i seizmotektonska studija šire okolice lokacije Županijskog centra za gospodarenje otpadom u Općini Lećevica**

Voditelj istraživačkih radova:

dr.sc. Renato Buljan, dipl.ing geol.

Autori seizmotektonskog dijela studije:

prof.dr.sc. Eduard Prelogović, dipl.ing.geol.

dr.sc. Renato Buljan, dipl.ing.geol.

Autori seizmološkog dijela studije (abecednim redom):

Mr. sc. Ivo Allegretti

Tomislav Fiket, dipl. ing.

Prof. dr. sc. Davorka Herak

Prof. dr. sc. Marijan Herak

Ines Ivančić, dipl. ing.

Krešimir Kuk, dipl. inž.

Mr. sc. Vlado Kuk

Mr. sc. Krešimir Marić

Doc. dr. sc. Snježana Markušić

Snježan Prevolnik, dipl. ing.

Josip Stipčević, dipl. ing.

Mr. sc. Ivica Sović

SADRŽAJ:

	str.
1. UVOD	4.
2. ZNAČAJKE SEIZMIČNOSTI	5.
2.1. Regionalno područje	5.
2.2. Lokalno područje	9.
2.3. Seizmička povijest lokacije	9.
2.4. Značajke makroseizmičkog polja	11.
3. SEIZMOTEKTONSKI ODNOSI	15.
3.1. Strukturni sklop	15.
3.1.1. Strukture i rasjedi	19.
3.1.2. Tektonska aktivnost, odnosi i pomaci struktura	48.
3.2. Seizmotektonski model	53.
4. INŽENJERSKO-SEIZMOLOŠKI PARAMETRI	56.
4.1. Odabir atenuacijskih funkcija	56.
4.2. Proračun seizmičkog hazarda i rizika	57.
4.2.1. Statističke značajke seizmičkih izvora	58.
4.3. Rezultati proračuna	60.
4.3.1. Deagregacija rizika po seizmičkim zonama	61.
4.4. Projektne vrijednosti akceleracije i intenziteta potresa	63.
5. ZAKLJUČAK	64.
6. LITERATURA	65.

POPIS PRILOGA:

- 3.1. Najvažniji strukturno geološki podaci
- 3.2. Recentna tektonska aktivnost, rasjedi, odnosi i pomaci struktura

1. UVOD

Područje oko lokacije Županijskog centra za gospodarenje otpadom u općini Lečevica seizmotektonski je aktivno. Potresi se događaju posvuda. Koncentracije potresa i pojave potresa velike jakosti u zaleđu Mosora, oko Trogira i Drniša ukazuju na stalno prisutnu tektonsku aktivnost. Stoga je bilo potrebno provesti detaljna seizmološka i seizmotektonska proučavanja i odrediti položaj razmatrane lokacije u seizmotektonski aktivnom geološkom strukturnom sklopu. Osnovni ciljevi proučavanja obuhvatili su: određivanje recentnih geoloških strukturnih odnosa i seizmotektonske aktivnosti, te posebice seizmičkih parametara na lokaciji odlagališta otpada.

Zbog prisutne seizmotektonske aktivnosti u radu su uzeti u obzir seizmološki i seizmotektonski podaci iz regionalnog i lokalnog područja. To je omogućilo odrediti seizmotektonski model, te provesti proračun utjecaja seizmičkih sila potrebnih za provedbu seizmičkog mikrozoniranja. Pri tom su izračunate vrijednosti akceleracije oscilacija tla za potresa na nivou osnovne stijene i osnovnog stupnja makroseizmičkog intenziteta. Proračun je proveden uz deterministički i vjerojatnostni pristup.

U radu su korišteni i dosadašnji podaci iz relativno brojnih objavljenih i važnih stručnih radova. Najprije se ističu osnovni podaci o stijenama na površini i strukturnim odnosima sadržanima u Osnovnoj geološkoj karti listova Split (Marinčić i dr., 1971), Omiš (Marinčić i dr., 1976), Drniš (Ivanović i dr., 1977) i Sinj (Papeš i dr., 1982). Posebno se ističu važni podaci o strukturnim odnosima na površini i u dubini (Zagorac, 1975; Cvijanović i dr., 1979; Herak, 1986; 1991; Labaš, 1987; Aljinović i dr., 1987; 1990; Skoko i dr., 1987; Lawrence i dr., 1995; Moores & Twiss, 1999; Kapelj, 2002). Osobito su korišteni radovi u kojima se raspravlja o seizmotektonskim odnosima, režimu stresa, recentnim strukturnim odnosima i amplitudama tektonskih pokreta (Ritsema, 1974; Anderson & Jackson, 1987; Grünthal & Stromeyer, 1992; Skoko & Prelogović, 1988; Kuk & Prelogović, 1995; Cigrovski – Detelić, 1998; Prelogović i dr., 1995; 1999; 2001; 2003a i b; Kuk i dr., 2000; Pribičević i dr., 2004). Izdvajaju se i geološke studije koje se odnose na uže područje lokacije odlagališta otpada (ECOINA, 2004; Korbar i dr., 2006). Na poslijetku se ističe bogata pismohrana Geofizičkog zavoda „Andrija Mohorovičić“ o potresima i najnoviji katalozi potresa (Gumbel, 1958; Sponheyer, 1960; Cornell, 1968; Jankinson, 1969; Karnik, 1971; McGuire, 1976; Kuk, 1982; Herak Ma. i dr., 1996).

2. ZNAČAJKE SEIZMIČNOSTI

2.1. Regionalno područje

Istraživanje značajki seizmičke aktivnosti provedena su za regionalno i lokalno područje oko istraživane lokacije. Na slici 2.1 prikazana je karta epicentara svih potresa koji su se na istraživanom području dogodili do kraja travnja 2010. godine, a prema dopunjenom katlogu potresa Hrvatske i okolnih područja (Herak et al., 1996).

Na osnovi prostornih, vremenskih i energetske značajki pojavljivanja potresa, te rezultata seizmotektonskih istraživanja, definirano je 8 seizmičkih izvora (seizmogenih zona) u širem regionalnom prostoru. Ti su izvori nazvani:

Velebit (1)

Ravni Kotari (2)

Dugi Otok (3)

Svilaja (4)

Mosor-Biokovo (5)

Hvar-Brač (6)

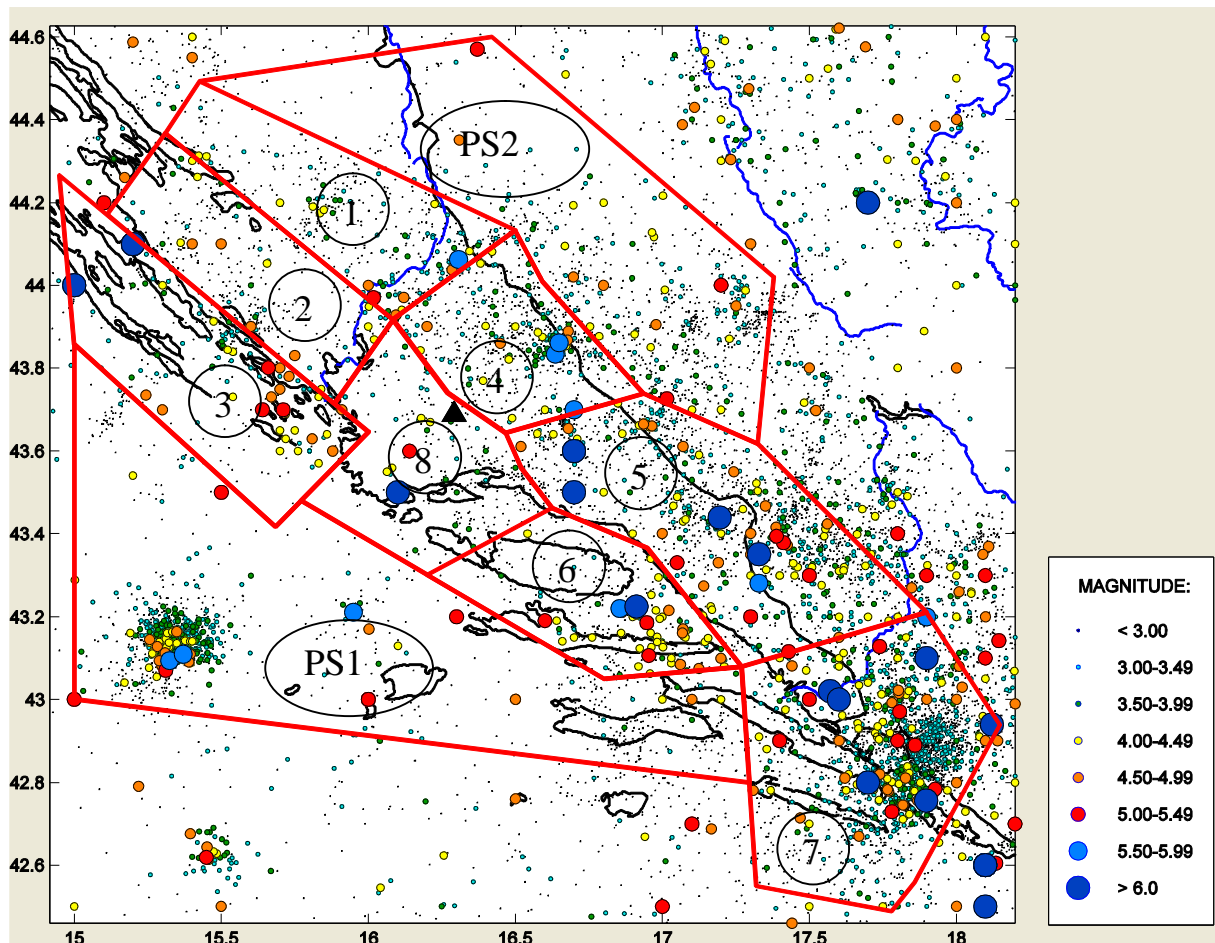
Ston (7)

Trogir (8)

• Velebit (1)

U središnjem dijelu ovog izvora seizmička aktivnost se u većoj mjeri veže za područje kanjona rijeke Zrmanje i oko Obrovca, a u manjoj mjeri sjeveroistočno od Starigrada. Najjači potres koji se dogodio ovdje bio je 9. studenoga 2000. godine, epicentra 13 km istočno od Obrovca, dubine žarišta 8 km, te magnitude $M = 4.5$.

Podaci o jačim potresima jugoistočnog dijela ovog izvora pokazuju njegovu naglašeniju seizmičku aktivnost za razliku od centralnog dijela. Potresi su vezani uz gornji tok rijeke Krke, sjeverozapadni dio planine Dinare i planine Promine. U ovom stoljeću najjači potresi su bili magnitude $M = 5.5$, a dogodili su se 7. rujna 1970. godine s epicentrom 1 km zapadno od Promine, te 25. studenog 1986. godine, epicentra nedaleko od Knina, u Dinari.



Slika 2.1. Karta epicentara potresa (pr. Kr. – 2009.g., Hrvatski katalog potresa, Geofizički odsjek PMF-a) i seizmogene zone (istraživana lokacija označena je crnim trokutom).

Nakon ovog drugog potresa epicentralnog intenziteta $I_0 = VII-VIII^\circ$ MCS i žarišne dubine 8 km, uslijedila je serija naknadnih potresa do kraja 1986. godine, od kojih su dva imala magnitudu veću od 4.0, i to: 27. studenog, magnituda $M = 4.4$ i 24. prosinca, magnituda $M = 4.7$.

- **Ravni Kotari (2)**

Ovaj seizmički izvor nadovezuje se jagozapadno na seizmički izvor Velebit. Obuhvaća na sjeverozapadu Ravne Kotare i nastavlja se jugoistočno do Šibenika. U središnjem i jugoistočnom dijelu ovog izvora dogodilo se više jačih potresa, epicentralnog intenziteta do $VIII^\circ$ MCS, koji su se događali oko Zemunika i Benkovca prije 1901. godine.

Najjači potres u prošlom stoljeću dogodio se 14. veljače 1924. godine, s epicentrom sjeveroistočno od Pirovca, magnitude $M = 4.8$ i epicentralnog intenziteta $I_0 = VI^\circ$ MCS.

• Dugi Otok (3)

Na seizmički izvor Ravni Kotari se dalje prema jugozapadu nadovezuje seizmički izvor Dugi Otok, a koji se pruža 20-ak km jugozapadno od Dugog Otoka te obuhvaća na svom jugoistočnom dijelu Kornate, otoke južno od Vodica i Vodice.

U povijesnim podacima se spominje Zadar (Zadarski kanal) kao mjesto gdje su se tijekom posljednjih 7 stoljeća događali razorni potresi intenziteta i do IX° MCS.

Također se u literaturi o povijesnim potresima nalaze podatci o potresima 1343. i 1418. godine s epicentrima u podmorju Jadrana, na zapadnoj, vanjskoj strani Dugog Otoka, intenziteta u epicentru $I_0 = IX^\circ$ MCS.

Osim navedenog, za ovaj seizmički izvor je značajna grupacija potresa koja se proteže područjem od Murtera prema Vodicama, a koje potom zakreće prema otoku Žirje. Najjači među njima su bili magnitude $M = 5.3$, a dogodili su se 26. rujna 1923. (1 km sjeverno od Kaprija), 29. siječnja 1924. (1.5 km istočno od Tisna) i 7. srpnja 1941. (5 km sjeverno od Žirja).

• Svilaja (4)

S obzirom na prostornu razdiobu epicentara dogođenih potresa u izvoru Svilaja, izdvajaju se dva područja izrazite koncentracije: prvo, kod Uzdolja (između planina Kozjak i Promina), a drugo, mnogo aktivnije, istočno od Peručkog jezera, u planini Dinari.

Najjači potres u ovom seizmičkom izvoru se dogodio izvan navedena dva područja, 5 km istočno od Sinja. Potres je bio 18. svibnja 1907. godine, magnitude $M = 6.2$, te inteziteta u epicentru $I_0 = VIII^\circ$ MCS. Najjači potresi unutar gore definiranih područja su imali epicentre u planini Dinari, kod sela Ježević. Prvi je bio magnitude $M = 5.6$, žarišne dubine 8 km, a dogodio se 27. studenog 1990. godine. Drugi, slabiji, magnitude $M = 5.5$ je bio gotovo na istom mjestu, istog dana, samo 13 minuta kasnije.

• Mosor-Biokovo (5)

Najjači potres u ovom izvoru se dogodio 2. srpnja 1898. godine. O tom potresu postoje u seizmološkom arhivu Geofizičkog odsjeka PMF-a materijali puni opisa makroseizmičkih efekata u Sinjskoj krajini. Prema tim zapisima epicentar potresa je bio u okolici Trilja, epicentralnog intenziteta $I_0 = IX^\circ$ MCS. Procijenjuje se da je magnituda bila $M = 6.7$. Nakon glavnog udara od 2. srpnja period pojačane seizmičnosti nastavio se i početkom 20. stoljeća, sve do 1908. godine. U tom razdoblju se dogodilo više stotina, što jačih (magnituda do $M = 5.3$), što slabijih potresa.

Potrebno je spomenuti i potres magnitude $M = 6.2$, a koji se dogodio 15. ožujka 1923. godine, žarišne dubine 8 km i epicentralnog intenziteta $I_0 = VIII-IX^\circ$ MCS, s epicentrom na području Bosne i Hercegovine, zapadno od Mostara, te potres u Imotskom polju 29. prosinca

1942. godine, potpuno iste magnitude $M = 6.2$, žarišne dubine 8 km i epicentralnog intenziteta $I_0 = \text{VIII-IX}^\circ \text{ MCS}$.

O izrazitoj seizmičkoj aktivnosti ovog seizmičkog izvora govori i podatak o čak 20 potresa, magnituda većih od 4.0, a koji su se dogodili u posljednjih 15 godina. Od njih je najjači bio onaj koji se dogodio 23. svibnja 2004. godine, magnitude $M = 5.3$, te maksimalnog intenziteta $I_{\text{max}} = \text{VI-VII}^\circ \text{ MCS}$. Potres je bio 15 km jugoistočno od Imotskog, žarišne dubine 7.7 km.

• Hvar-Brač (6)

Novije razdoblje, nakon 1950. godine, karakterizirano je pojačanom seizmičkom aktivnosti priobalnog područja, izrazito u Podbiokovlju, gdje su se u razmaku od samo 4 dana dogodila dva jaka potresa. Prvi, nešto slabiji, magnitude $M = 5.9$ i epicentralnog intenziteta $I_0 = \text{VIII}^\circ \text{ MCS}$ zbio se 7. siječnja, a drugi, glavni, 11. siječnja 1962. godine, magnitude $M = 6.1$ i epicentralnog intenziteta $I_0 = \text{VIII-IX}^\circ \text{ MCS}$. Epicentri potresa bili su u podmorju Jadrana (Hvarski kanal), između Zagvozda i Živogošća.

Seizmička aktivnost istočnog dijela otoka Hvara i Hvarskog kanala naglašenija je u odnosu na aktivnost ostalog dijela Hvara i Brača. Najjači potres u prošlom stoljeću se dogodio 20. srpnja 1937. godine, kod Starog Grada, magnitude $M = 5.2$ i epicentralnog intenziteta $I_0 = \text{VI-VII}^\circ \text{ MCS}$. Većina potresa istočnog dijela Hvara i Hvarskog kanala pripadaju naknadnim potresima povezanim sa seizmičkom aktivnošću Biokova.

• Ston (7)

Uz seizmički izvor Dubrovnik (u ovoj studiji nije eksplicite razmatran i uziman u obzir), po seizmičkom potencijalu, je seizmički izvor Ston najmarkantnije područje u Hrvatskoj. Uz povijesne podatke koji govore o snažnim potresima u tom području, potrebno je spomenuti vrlo jak potres iz 1996. godine, s epicentrom u podmorju Jadrana, između Stona i Slanog. Magnituda tog potresa je bila $M = 6.0$, a u užem starom dijelu Stona potres se manifestirao intenzitetom $\text{VIII}^\circ \text{ MSK}$ ljestvice.

Potrebno je posebno naglasiti činjenicu da je u samo nekoliko mjeseci 2004. godine u ovom izvoru, na području između Čapljine i Stolca, zabilježeno nekoliko stotina, uglavnom slabih potresa, no koji ikazuju na izrazitu recentniju seizmičku aktivnost ovog područja.

Također je 2002. godine seizmički ponovo aktivirano i područje koje se proteže sjeveroistočno od Stona, preko Stona dalje prema Mljetu. Najjači potres bio je 2003. godine, magnitude $M = 5.0$, žarišne dubine 5.2 km, a dogodio se 30 km sjeveroistočno od Stona.

• Trogir (8)

U ovom seizmičkom izvoru moguće je identificirati tri grupacije lokacija epicentara. Prva pružanja Drniš – Šibenik, druga koja obuhvaća područje od Otavica preko Unešića i Cere prema Trogiru, a i treća se pruža zapadno od Sinja preko Solina prema Šolti.

Najjači potres unutar ovog izvora se prema povijesnim podacima dogodio 1496. godine u okolici Togira, magnitude $M = 6.7$ i epicentralnog intenziteta $I_0 = IX^\circ$ MCS.

U prošlom stoljeću najjači potres je bio magnitude $M = 5.0$, žarišne dubine 10 km, a dogodio se 29. svibnja 1920. godine, 1.5 km južno od Ljubitovice.

Posljednji jaki potres, magnitude $M = 4.1$, a koji se dogodio ovdje je bio 8. listopada 2000. godine, lokacije epicentra 2.5 km jugozapadno od Rastovca.

• Preostala seizmičnost

Uz navedene seizmičke izvore, kod proračuna su uzeti u obzir i potresi koji ne pripadaju tim izvorima, a svrstani su u grupu tzv. Preostale seizmičnosti. Najvažnije je u svezi seizmičke aktivnosti toga prostora spomenuti da su se u području PS1 (Jadranski potresi) dogodila u ovom stoljeću čak tri potresa magnituda većih od $M = 5.0$. Najjači od njih, magnitude $M = 5.9$, ujedno je i glavni potres serije koja je uslijedila nakon njega. Dogodio se 29. ožujka 2003. godine u središnjem Jadranu, 34 km zapadno od otoka Svetca. Unutar područja označenog s PS2 (potresi u BiH) dogodila su se početkom 20. stoljeća (1900. i 1904. godina) jedina dva potresa magnituda većih od 5.0. Oba su bila magnitude $M = 5.3$, epicentra 2 km zapadno od Zlasela u Bosni i Hercegovini. Najjači potres u ovom stoljeću se u području PS2 dogodio 10. svibnja 2003. godine, 8 km sjeverno od Livna, a bio je magnitude $M = 4.7$.

2.2. Lokalno područje

Istraživana lokacija nalazi se u seizmički aktivnom području, u izvoru Trogir. Kako se vidi na Sl. 2.1, i u lokalnom prostoru događaju se potresi. Analizom Katloga potresa, utvrđeno je da se u krugu radijusa 10 km uokolo lokacije dogodilo ukupno 50 potresa, od kojih je 12 u krugu radijusa 5 km. Najbliži lokaciji, epicentralne udaljenosti oko 1 km, bio je potres magnitude oko 0, koji se dogodio 6.6.1994. godine. Od 12 spomenutih potresa, najveće je magnitude, $M=3.5$, bio potres od 11.6.2003. godine, s epicentralnom udaljenošću oko 2 km. Od 38 potresa epicentralnih udaljenosti od 5 do 10 km, dva su potresa bila magnituda većih od 4, onaj od 3.5.1923. godine, epicentralne udaljenosti oko 9 km, magnitude 4.1 i dubine žarišta 10 km – na lokaciji se je taj potres manifestirao intenzitetom (računski dobivenim) 4.6° MSK, te potres od 9.6.1930. godine, epicentralne udaljenosti oko 7 km, magnitude 4.4 i dubine žarišta 22 km, koji se je manifestirao izračunatim intenzitetom 5.9° MSK.

2.3. Seizmička povijest lokacije

Računanjem intenziteta potresa na lokaciji, utvrđeno je da se njih 96 na lokaciji manifestiralo intenzitetima $\geq 4.0^\circ$ MSK, od kojih 24 s intenzitetima $\geq 5.0^\circ$ MSK. Podaci o tih 24 potresa navedeni su u Tab. 2.1.

Tablica 2.1. Dvadesetčetiri najjača potresa koji su se manifestirali na lokaciji izračunatim intenzitetom $I \geq 5.0^{\circ}$ MSK (sa M je označena magnituda, h dubina žarišta, I_0 epicentralni intenzitet, Δ epicentralna udaljenost)

Datum			Epicentar		H (km)	M	I_0 ($^{\circ}$ MSK)	Δ (km)	I ($^{\circ}$ MSK)
			Φ	λ					
1898	7	2	43,6	16,7	0	6,7	9	34	7,2
1907	5	18	43,7	16,7	15	5,7	8	33	6,7
1970	9	7	43,971	16,017	12	5,4	8	38	6,2
1899	5	15	43,6	16,7	10	5,6	8	34	6,2
1962	1	11	43,225	16,913	14	6,1	8,5	72	6
1930	6	9	43,67	16,21	22	4,4	6	7	5,9
1990	11	27	43,861	16,65	9	5,5	8	35	5,9
1920	5	30	43,86	16,45	15	4,9	7	23	5,9
1983	4	28	43,761	16,341	11	3,8	5.5	9	5,4
1983	4	28	43,77	16,39	13	4	5.5	12	5,4
1930	6	8	43,65	16,2	10	3,7	5.5	9	5,4
1962	1	7	43,22	16,855	12	5,9	8	69	5,3
1971	7	10	43,631	16,284	2	3,4	5.5	6	5,2
1900	1	8	43,7	16,7	10	5,3	7	33	5,2
1986	4	29	43,642	16,575	17	4,1	6	23	5,2
1923	9	26	43,7	15,71	15	5,3	7	47	5,2
1941	7	7	43,7	15,64	14	5,3	8	53	5,2
1900	1	27	43,6	16,7	10	5,3	7	34	5,2
1899	4	15	43,6	16,7	10	5,3	7	34	5,2
1898	12	12	43,6	16,7	10	5,3	7	34	5,2
1898	7	8	43,6	16,7	10	5,3	7	34	5,2
1986	11	25	44,063	16,308	8	5,5	7,5	42	5,1
1942	12	29	43,44	17,195	8	6,2	8,5	78	5,1
1930	6	8	43,65	16,2	10	3,4	5.5	9	5

Kako se vidi iz gornje tablice, epicentralne udaljenosti navedenih potresa u intervalu su od 6 km (potres iz 1971. g. s epicentrom sjeverozapadno od Lećevice) do 78 km (potres iz 1942. g. s epicentrom kod Imotskog). Jedan potres (s epicentrom kod Trilja, iz 1898.g.) bio je intenziteta VII^o MSK, a četiri potresa bila su intenziteta VI^o MSK. Pritom valja naglasiti da se ovdje govori o izračunatim (teoretskim) vrijednostima intenziteta, koje se u pravilu razlikuju od makroseizmički određenih.

2.4. Značajke makroseizmičkog polja

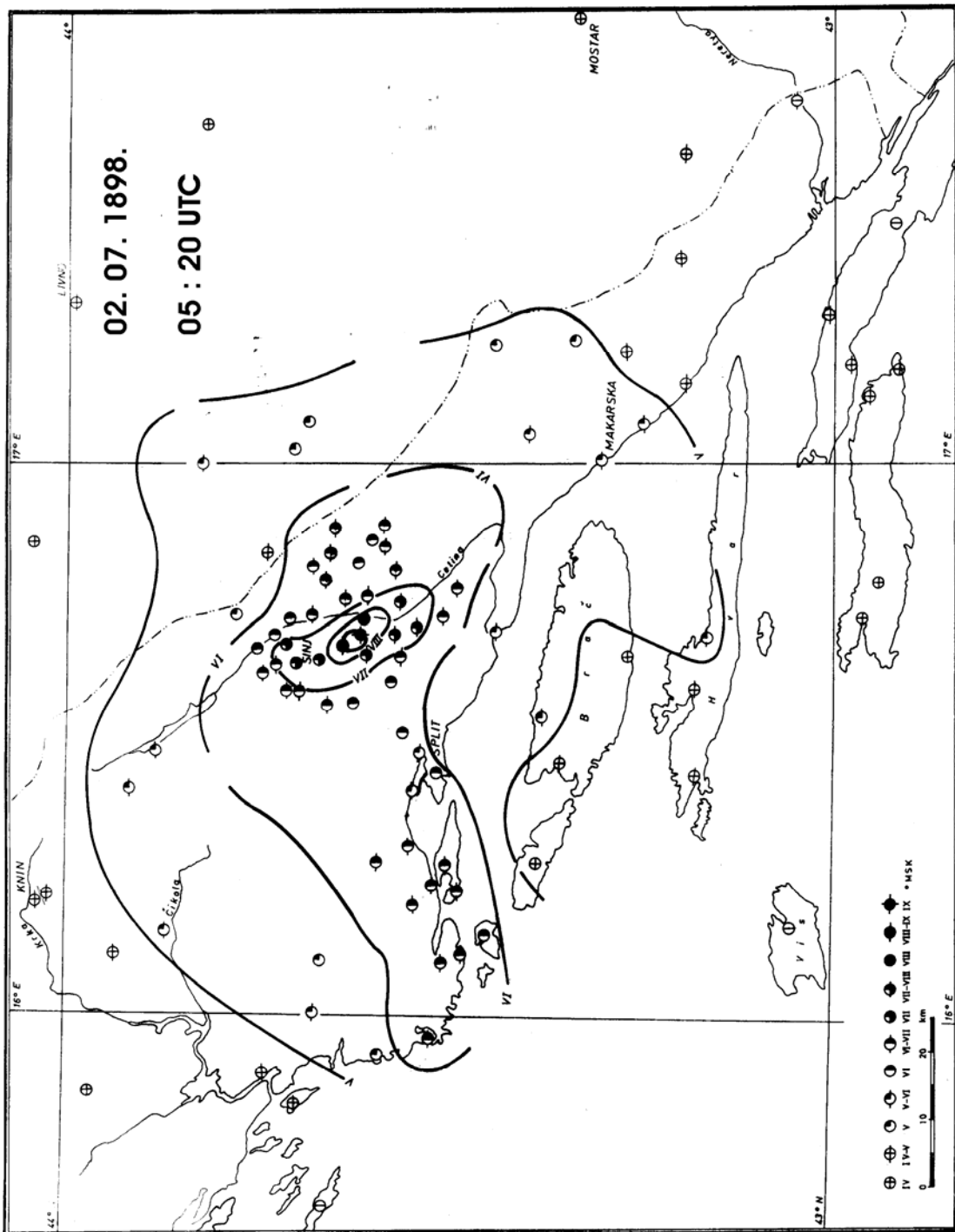
Na osnovi Makroseizmičkog kataloga analizom podataka utvrđeno je da se na lokaciji najvećim intenzitetima osjetilo pet potresa. To su potresi od 2. 7. 1898., 18. 05. 1907., te 25. 11. 1986., koji su se na lokaciji manifestirali intenzitetom I=VI^o MSK, te potresi 6. 12. 1989. i 27. 11. 1990. koji su se manifestirali intenzitetom I=V^o MSK.

U okolici Trilja dogodio 2. srpnja 1898. potres najvećeg intenziteta IX^o MSK ljestvice. Epicentar potresa je bio u području sela Vojnić, Turjaci i Trilj gdje je potres pričinio i najgore štete. U potresu su poginule četiri osobe, a 63 ih je ranjeno od čega šestero teško. Na sreću, većina ljudi je u trenutku potresa bila u polju pa nisu stradali. Osim uništenih kuća potres je uzrokovao mnoge odrone po okolnim brdima i pucanje zemlje koje je bilo posebno jako na cesti Trilj – Vojnić. Pukotine širine 10 do 20 cm su se otvorile u nekoliko paralelnih redova u smjeru SI - JZ uz vertikalne pomake od desetak centimetara. U Turjacima je propala zemlja na dva mjesta napravivši rupe promjera 1.5 m i dubine 1 i 0.2 m, a u Glavicama se otvorila rupa u zemlji elipsastog oblika, dimenzija 3.5 x 2.5 m i dubine 10 m. Rupa se do jedan metar od ruba napunila vodom. Izvori u Jabuci, Podgrađu i Vedrini su presahli, dok su bunari u Vojniću, Košutama i Bučanima raspucali. Na Cetini kod Trilja nastali su valovi koji su izbacivali ribe iz vode.

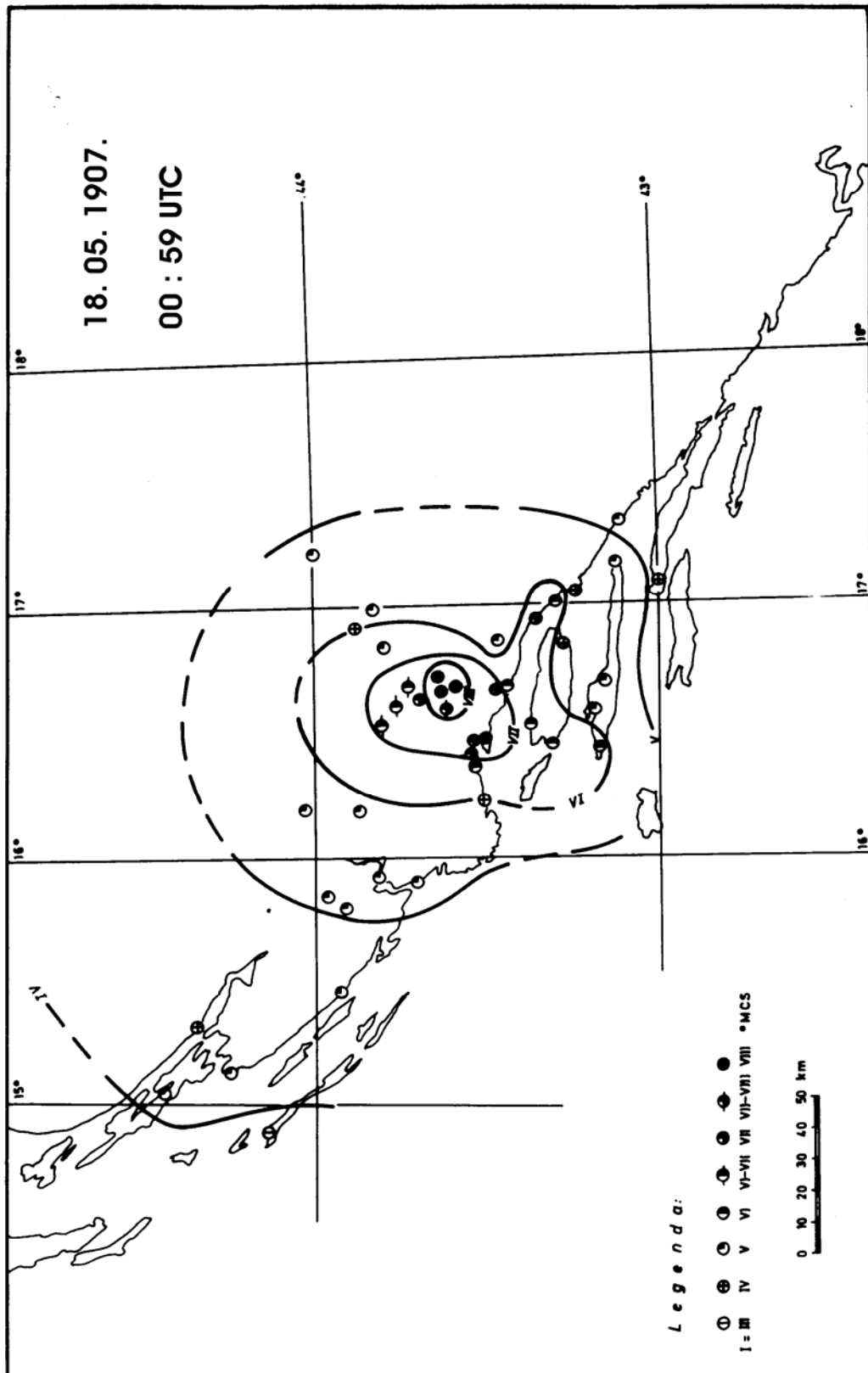
Izoseiste tog potresa (Slika 2.2) kao i ostalih potresa iz tog područja izrazito su izdužene u smjeru pružanja dinarida (SZ – JI). Ekstrem intenziteta VI-VII^o u području od Kaštela do Rogoznice nalazi se jugozapadno od epicentra, u smjeru pukotina tla koje su bile vidljive na površini što ukazuje na aktiviranje rasjeda koji se pruža poprečno na Dinaride.

Devet godina kasnije, 18. svibnja 1907. dogodio se, skoro na istom mjestu, potres magnitude M=5.3, a osjetio se najvećim intenzitetom VIII-IX stupnjeva MSK ljestvice (Slika 2.3). U Sinjskom polju je napravio mnogo štete na zidanim objektima, a posebno na kućama koje su prethodno bile oštećene potresom iz 1898. godine.

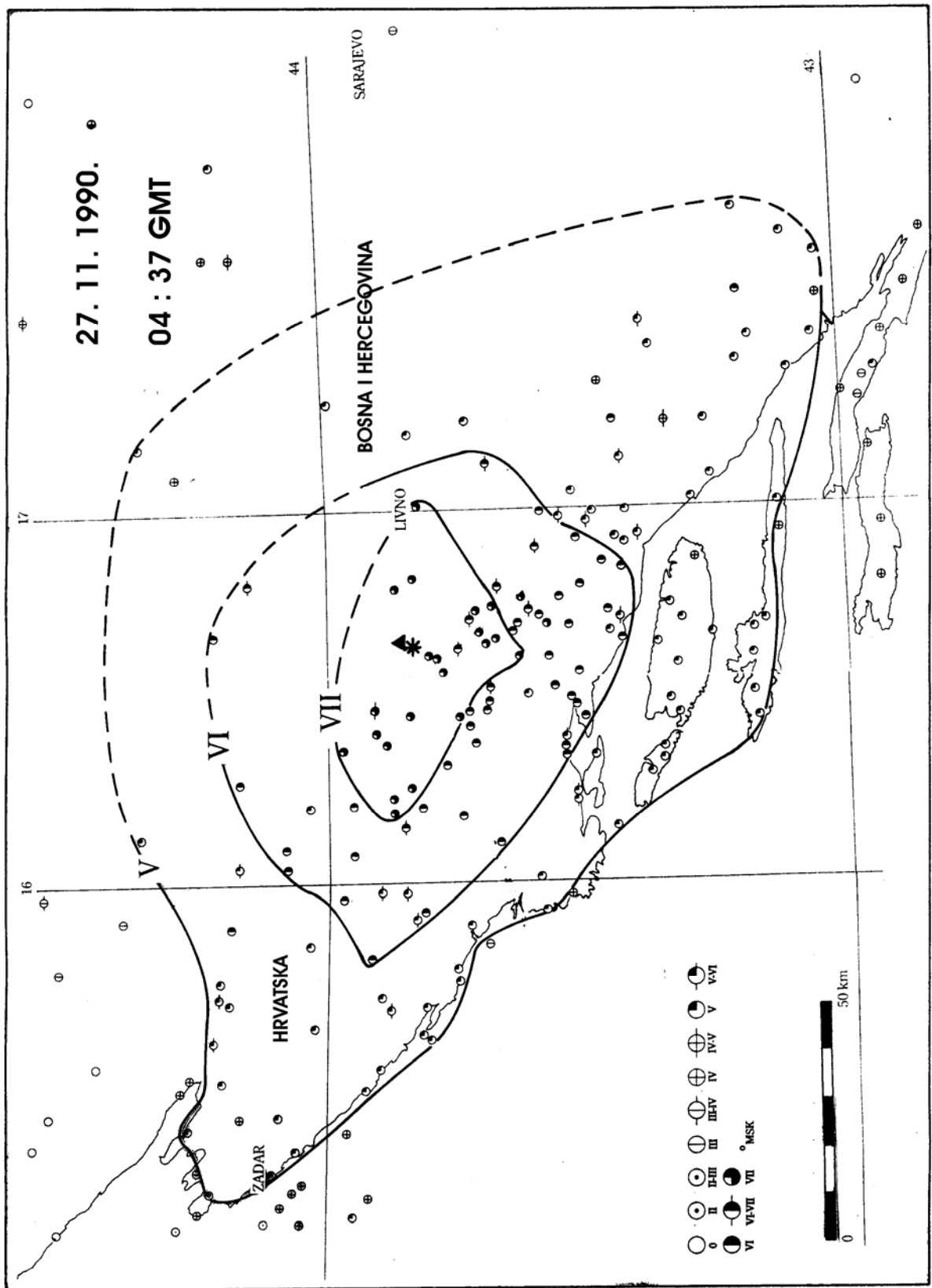
U razdoblju od 1986. do 1990. dogodila su se tri potresa s epicentrima na Dinari. Magnituda potresa od 25. 11. 1986. je iznosila M=5.5, a potresa od 6. 12. 1989. je bila M=4.8. S obzirom da su epicentri tih potresa bitno dalje od lokacije u odnosu na epicentre potresa iz 1898. i 1907., oni su se na lokaciji osjetili intenzitetom V stupnjeva MSK ljestvice. Potres od 27. 11. 1990. magnitude M=5.6 se u Lećeveci osjetio intenzitetom VI stupnjeva MSK ljestvice (slika 2.4).



Slika 2.2 Karta izoseista potresa od 02. 07. 1898. u 05 sati i 20 minuta GMT



Slika 2.3 Karta izoseista potresa od 18. 05. 1907. u 00 sati i 59 minuta GMT



Slika 2.4 Karta izoseista potresa od 27. 11. 1990. u 04 sata i 37 minuta GMT

3. SEIZMOTEKTONSKI ODNOSI

Obuhvaćeno područje nalazi se, prema strukturnim klasifikacijama, u dodirnom prostoru dvije regionalne strukturne jedinice: Adriatik (1u [slici 3.1.](#) i [prilogu 3.2.](#)) i Dinarik (2). Zbog stalno prisutnih promjena strukturnih odnosa i naglašene seizmotektonske aktivnosti granica tih jedinica u zaleđu Mosora nije strogo definirana. Ipak, podaci pokazuju da je tektonska aktivnost strukturnih jedinica u zaleđu Mosora povezana s kompresijom prostora i pomacima Mosora i Biokova. Uvažavajući tu činjenicu u recentnom strukturnom sklopu obuhvaćenom u [slici 3.1.](#) dodatna važnost se pridaje zoni rasjeda koja se pruža između Muća i Klisa ([slika 3.1.](#)). Svakako, strukturni sklop oko lokacije odlagališta otpada pripada seizmotektonski aktivnom prostoru dodira regionalnih strukturnih jedinica.

Zbog važnosti točne odredbe dinamike geološkog strukturnog sklopa bilo je potrebno skupiti podatke koji ukazuju na aktivne rasjede i pomake struktura. Usredotočilo se na klasificiranje struktura i rasjeda, izdvajanje najaktivnijih dionica rasjeda, odredbu vrste i smjera recentnih pomaka struktura, te posebice položaja razmatrane lokacije u seizmotektonskom sklopu.

Najprije je izvršeno terensko strukturno – geološko kartiranje. Uslijedila je razrada dinamičkih odlika sklopa. Naposljetku je određen seizmotektonski model i parametri potrebni za procjenu maksimalnih magnituda potresa u seizmičkom izvoru. Detalji strukturnog sklopa uočeni su pomoću avionskih i satelitskih snimaka.

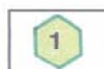
3.1. Strukturni sklop

Obuhvaćeni strukturni sklop oblikuju reversne strukture pružanja ZSZ –IJI, mjestimice Z – I. U prostoru prikazanom u [slici 3.1.](#) unutar regionalne strukturne jedinice Adriatik (1) razlikuju se četiri strukturne jedinice. Razmatrana lokacija nalazi se unutar strukturne jedinice Šibenska i Trogirska Zagora (1). U području prikazanom u [prilogu 3.2.](#) još su djelomice obuhvaćene strukturne jedinice Promina – Moseć (2) i Plavno – Svilaja (3). Granicama regionalnih i manjih strukturnih jedinica pružaju se najvažniji i seizmotektonski najaktivniji rasjedi strukturnog sklopa. Zbog prisutne kompresije prostora unutar strukturnih jedinica pojavljuju se nizovi lokalnih reversnih struktura. U seizmotektonskim razmatranjima bitni su strukturni odnosi u dubini. Osnovni odnosi razabiru se iz gravimetrijskih podataka. Najvažnija su dva podatka. Najprije položaj i pružanja gravimetrijskih maksimuma i minimuma. Maksimumi se pojavljuju u prostoru najveće kompresije u Moseću, između Drvenika i Šolte, u Kozjaku i Svilaji ([slika 3.1.](#)). Osi minimuma označavaju poniranje stijena u dubinu. U obuhvaćenom području to je izraženo duž rubnih dijelova strukturne jedinice Šibenska i Trogirska Zagora (1) zbog reversnih tektonskih pomaka u zonama rasjeda. Drugi podatak odnosi se na pojavu i pružanje zona većih gravimetrijskih gradijenata. Sigurno pokazuju prostor skokovitih pomaka stijena različite gustoće u dubini. Duž zona rasjeda Knin – Muć (2) i rasjeda Novigrad – Drniš – Moseć (4) prema dubinskim seizmičkim refleksijskim profilima skokovi paleozojskih stijena iznose 4 – 6 km. Zone većih gravimetrijskih gradijenata ukazuju i na najaktivnije dionice rasjeda.

**STRUKTURNI SKLOP
I
SEIZMOTEKTONSKI AKTIVNE ZONE**

Legenda:

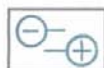
A. STRUKTURE



REGIONALNE STRUKTURNE JEDINICE:
1 – ADRIATIK; 2 - DINARIK



STRUKTURNE JEDINICE:
1 – ŠIBENSKA I TROGIRSKA ZAGORA; 2 – PROMINA – MOSEĆ; 3 – PLAVNO – SVILAJA;
4 – PRIMOŠTENSKA ZAGORA – TROGIR – DRVENIK – ŠOLTA – BRAČ;



OSI MINIMUMA I MAKSIMUMA REZIDUALNIH GRAVIMETRIJSKIH ANOMALIJA



ZONE VEĆIH GRAVIMETRIJSKIH GRADIJENATA

B. RASJEDI

- NAJVAŽNIJI I SEIZMOTEKTONSKI NAJAKTIVNIJI
RASJEDI STRUKTURNOG SKLOPA



RASJEDI GRANIČNI REGIONALNIM STRUKTURNIM JEDINICAMA:
1 – RASJED MOSOR – BOKOVO; 2 – RASJED KNIN – MUĆ



RASJEDI GRANIČNI STRUKTURNIM JEDINICAMA:
3 – RASJED ZADAR – TIJESNO – VILAJA – KOZJAK;
4 – RASJED NOVIGRAD – DRNIŠ – MOSEĆ; 9 – BRAČKI RASJED



RASJEDI GRANIČNI NIZOVIMA REVERSNIH STRUKTURA

- OZNAKE ZA:



REVERSNE RASJEDE



DIONICE RASJEDA NEODREĐENOG KARAKTERA



ZONE RASJEDA

C. SEIZMOTEKTONSKA AKTIVNOST



ORJENTACIJA MAKSIMALNOG KOMPRESIJSKOG STRESA



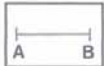
SMJER POMAKA DIJELOVA STRUKTURNIH
JEDINICA UZ POVRŠINU



EPICENTAR POTRESA INTENZITETA IX° MCS



RASJEDI S PREVLADAVAJUĆOM HORIZONTALNOM KOMPONENTOM
POMAKA KRILA

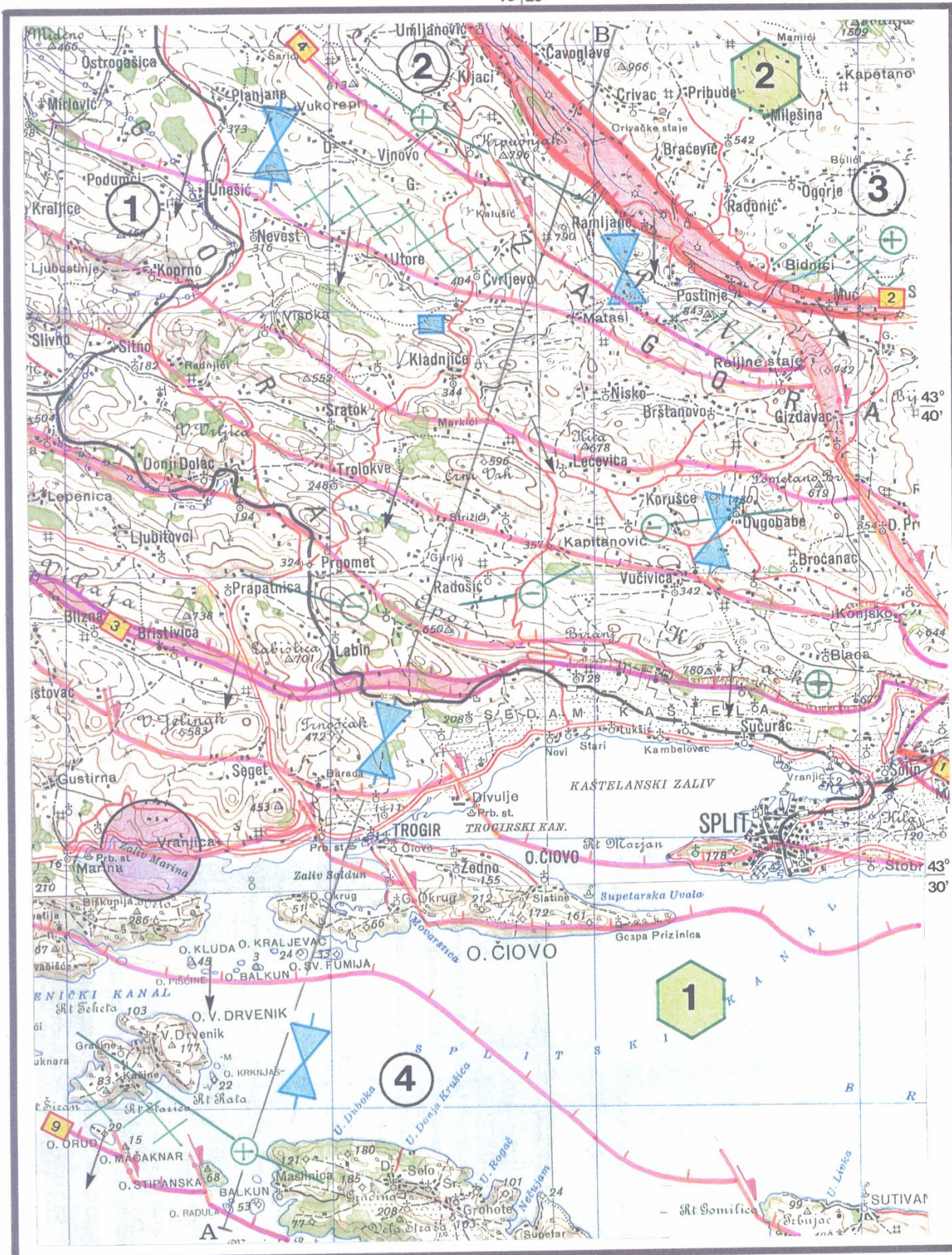


SEIZMOTEKTONSKI PROFIL



LOKACIJA ODLAGALIŠTA OTPADA

16° 20'



**STRUKTURNI SKLOP I SEIZMOTEKTONSKI
AKTIVNE ZONE**

Slika 3.1.

3.1.1. Strukture i rasjedi

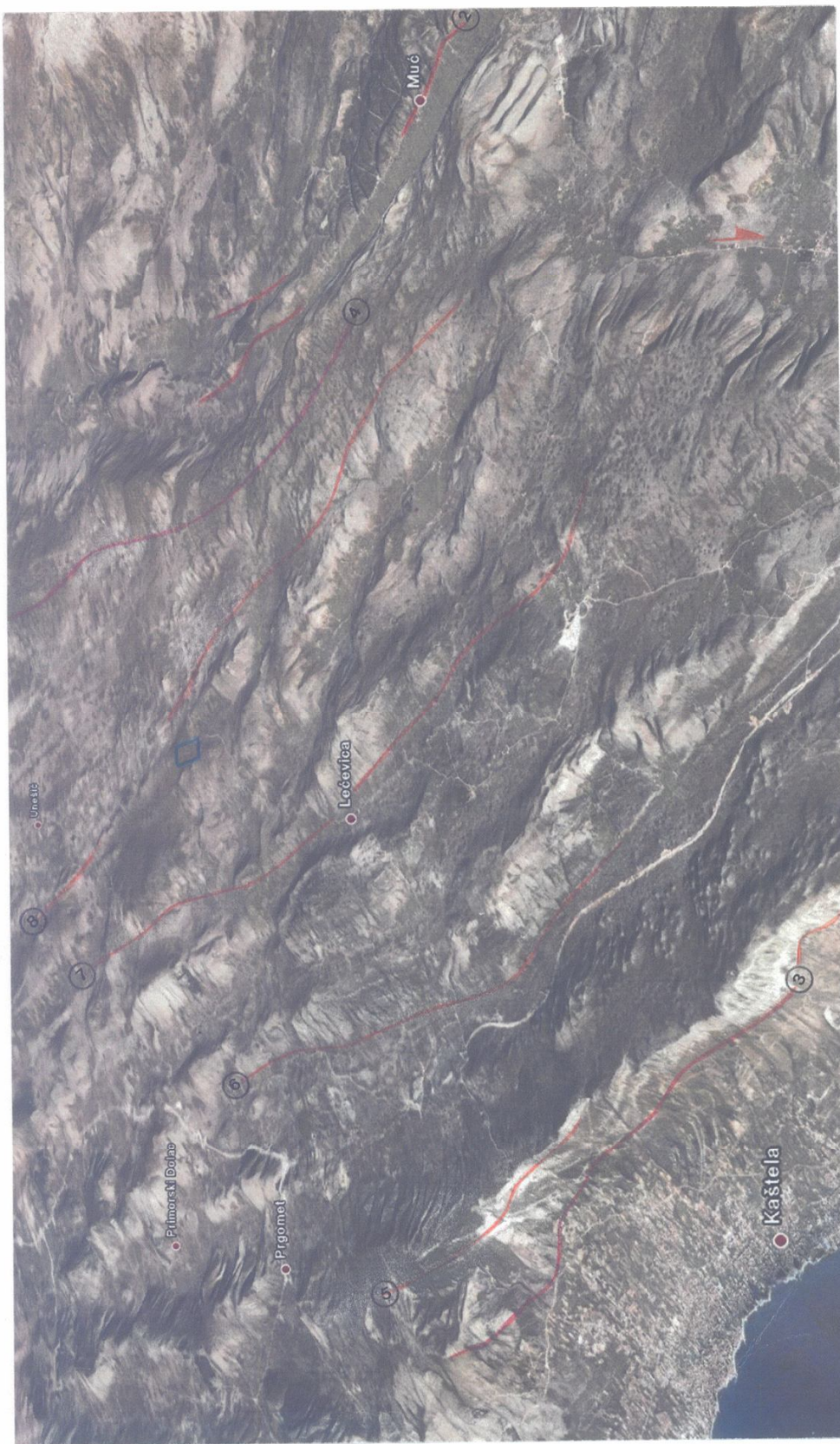
U širem lokalnom području oko lokacije odlagališta otpada izvršena je klasifikacija struktura i rasjeda ([prilozi 3.1. i 3.2.](#)). ističu se najvažniji strukturno-geološki podaci koji ukazuju na odnose struktura, pružanje rasjeda, pomake njihovih krila, te na prisutnu dinamiku sklopa.

Najvažniji strukturni podaci dobiveni su terenskim kartiranjem. Otkriveno je 100 izdanaka rasjeda. U izdancima su provedena potrebna mjerenja strukturnih elemenata ([prilog 3.1.](#)). U pojedinim točkama motrenja bilo je moguće skupiti nekoliko podataka. U izdancima su provedena mjerenja strukturnih koji poglavito označavaju tip, genezu i položaj rasjeda u sklopu, vrstu pomaka krila, te odnose stresa i deformacije sklopa.

Najprije treba istaknuti da se pojedine strukture i rasjedi izravno odražavaju u reljefu ([slike 3.2. i 3.3.](#)). Ovisnost oblika reljefa i strukturnih odnosa ukazuju na stalno prisutne tektonske pokrete. Primjerice, reversne strukture predstavljene su brdovitim reljefom, a pojedini rasjedi najčešće strmim i odsječnim obroncima, izraženim strmcima, usječenim i ravnocrtnim dolinama, te nizovima i oblicima ponikava. U reljefu se osobito ističu najvažniji rasjedi strukturnog sklopa ([slike 3.2. i 3.3.](#)).

Na odlike strukturnog sklopa obuhvaćenog područja u prilogu 3.2. bitno utječe njegov položaj u dodirnom prostoru dvije regionalne strukturne jedinice. Granični rasjed Knin – Muć (2) samo je djelomice prikazan u prilogu. Uz njega se ističu rasjedi granični dvjema strukturnim jedinicama: Šibenska i Trogirska Zagora (1) i Promina – Moseć (2). Zbog kompresije prostora unutar jedinica nastaju reversne strukture. Pojedine lokalne strukture čine nizove. Granicama šest izdvojenih nizova reversnih struktura pružaju se rasjedi koji se priključuju najvažnijim i seizmotektonski najaktivnijim rasjedima strukturnog sklopa. Ti rasjedi imaju relativno brojne ogranke i prateće rasjede koji omogućavaju uočiti zone rasjeda i najistaknutije dijelove lokalnih reversnih struktura. U tu grupu pridružuju se i rasjedi koji sijeku nizove reversnih struktura uz pretežito desne pomake struktura i njihovih dijelova. U [prilogu 3.1.](#) uočeni su i rasjedi koji se nalaze unutar struktura, jer utječu na daljnju razlomljenost strukturnog sklopa i opću ocjenu tektonske aktivnosti.

Na površini područja prikazanog u prilogima pretežno se nalaze vapnenci i u manjoj mjeri dolomiti kredne starosti, te eocenski vapnenci i flišni lapori, pješčenjaci, konglomerati i breče ([prilog 3.1.](#)). U Svilaji ima vapnenaca, dolomita, lapora, tufova i gipsa trijasko starosti, te vapnenaca i dolomita jurske starosti. Najvažnije jest da se navedene stijene pretežito pružaju u izduženim zonama i intenzivno su rasjednute. U pojedinim točkama motrenja ([prilog 3.1.](#)) najčešće su nađene otkrivene plohe rasjeda sa strijama, koje izravno pokazuju kut i smjer pomaka krila. Rasjedi najčešće tvore zone. Najvažniji rasjedi strukturnog sklopa predstavljeni su zonama različite širine.



PRIMJERI ODMAŽAVANJA STRUKTURA I RASJEDA U RELJEFU

U obuhvaćenom području prisutne su reverzne strukture. Zbog kompresije prostora i aktivnosti reverznih rasjeda nastaje asimetričan reljef s pojavom strmih obronaka i strmaca u krovinskim krilima rasjeda. Pojedina istaknuta brda označavaju lokalne reverzne strukture koje se nižu između izdvojenih najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa (označeni brojevima). Rasjedi se pružaju duž odsječeni, strmih obronaka i kroz duboko usječene doline koje se osobito ističu u priloženoj slici. Široka dolina između Muća i Klisa nastala je u zoni rasjeda s horizontalnim pomacima krila (strijelica).

Slika 3.2.



a



b

Izravno odražavanje struktura i rasjeda u reljefu posljedica je stalno prisutne tektonske aktivnosti. Ističu se dva primjera.

- a) Osobito je izražen strmac u reljefu koji nastaje u krovinskom krilu rasjeda Zadar – Tijesno – Vilaja – Kozjak (3 u slici 3.1. i prologu 3.2.). Rasjed se pruža podnožjem strmca duž kontakta vapnenca i fliša. U slici je vidljiv istočni dio strmca i struktura Kozjak (1).
- b) Pogled na zonu rasjeda Perković – Trolokve – Konjsko (6) kod Konjskog. Brda predstavljaju lokalne recersne strukture. Znakovito je pojavljivanje strmca čijim se podnožjem pruža rasjed na površini.

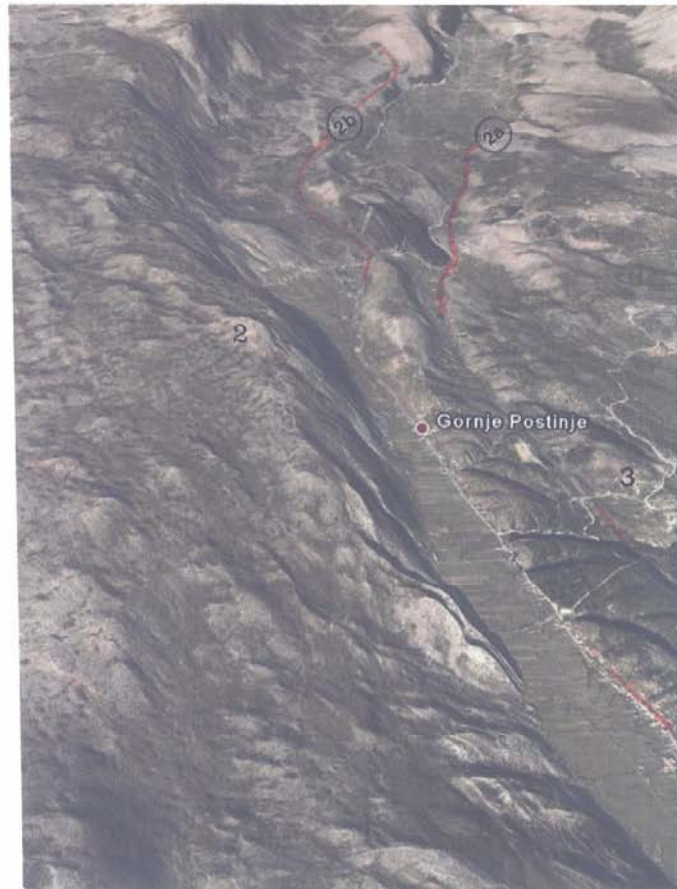
Slika 3.3.

Najprije se ističe najvažniji rasjed strukturnog sklopa Knin – Muć (2). Predstavljen je zonom reversnih rasjeda vergencije prema JJZ širokom 700 – 1500 m kod sela Ramljane (prilog 3.2.). Glavni rasjedi iz zone ističu se u reljefu strmim obroncima i usječenim dolinama (slika 3.4.). Nagibi rasjeda iznose 50° - 82°. Primjeri rasjeda otkirveni su u T79. Mjeren je položaj rasjeda 23/ 50/ 25/ reversni desni (slika 3.5.).

Istaknuti položaj u strukturnom sklopu pripada zoni rasjeda Zadar – Tijesno – Vilaja – Kozjak (3). Rasjed je regionalnog značenja, reversan, vergencije prema J i JJZ. Graniči strukturnoj jedinici Šibenska i Trogirska Zagora (1), koja pripada regionalnoj strukturnoj jedinici Adriatik (1). Predstavljen je zonom širine do 800 m. Glavnu zonu prate nizovi ogranaka. Pojedini rasjedi odražavaju se strmcem u reljefu (slika 3.6.). Rasjedi u promatranoj zoni promjenljivog su nagiba između 40° i 85°. Ističu se izdanci na obroncima Kozjaka (1) položaja: 8/ 40/ 75/ reversni desni (T35, slika 3.7.a) i 6/ 42/ 50/ reversni desni (T37, slika 3.7.b).

Osnovna značajka strukturne jedinice Šibenska i Trogirska Zagora (1) jest pružanje reversnih rasjeda i struktura pravcem Z – I do ZSZ – IJI, te postojanje pet nizova lokalnih reversnih struktura uz zasebno izdvajanje relativno velike strukture Kozjak (1). Unutar nizova reversnih struktura razlikuje se 15 važnijih lokalnih struktura. Granicom niza reversnih struktura Boraja – Vilaja – Labištica – Trečanica (2) pruža se rasjed Šibenik – Primorski dolac – Opor (5). Na Kozjaku (1) spaja se s rasjedom Zadar – Tijesno – Vilaja – Kozjak (3), što znači da je njegov glavni ogranak. U zoni širine do 400 m reversni rasjedi imaju nagib 50° - 80° i vergenciju prema JJZ. U najboljem izdanku na obroncima Kozjaka (1) nekoliko rasjeda iz zone ima položaj 350/ 80/ 120/ reversni lijevi (T40, slika 3.8.).

U strukturnom sklopu osobito se ističe rasjed Perković – Trolokve – Konjsko (6). Graniči nizu reversnih struktura Trtar – Lečevica – Konjsko (4) unutar kojeg se ističu lokalne strukture Paklenica (7) i Biluš (8). Značajke rasjeda su slijedeće: cijelom trasom odražava se u reljefu, zona reversnih rasjeda je širine do 400 m i vergencije prema JJZ, postoji niz ogranaka od kojih je rasjed kod Vučevice predstavljen zonom širine do 400 m, te različiti nagibi rasjeda između 60° - 80° i ogranaka između 34° - 85°. Izdanci rasjeda nalaze se posvuda duž trase. Izdvajaju se izdanci u T50 i T70, te položaji rasjeda 10/ 62/ 70/ reversni desni i 13/ 74/ reversni (slika 3.9.). Veliki izdanak u T72 otkriva zdrobljenu zonu s nizom paralelnih rasjeda položaja 10/ 66/ 70/ reversni desni. Zbog kompresije prostora u zoni nastaju i reversni rasjedi različite vergencije, a uočljivo je i svijanje rasjeda po nagibu (slika 3.10.).



PRIMJERI NAJVAŽNIJIH I SEIZMOTEKTONSKI NAJAKTIVNIJIH RASJEDA STRUKTURNOG SKLOPA

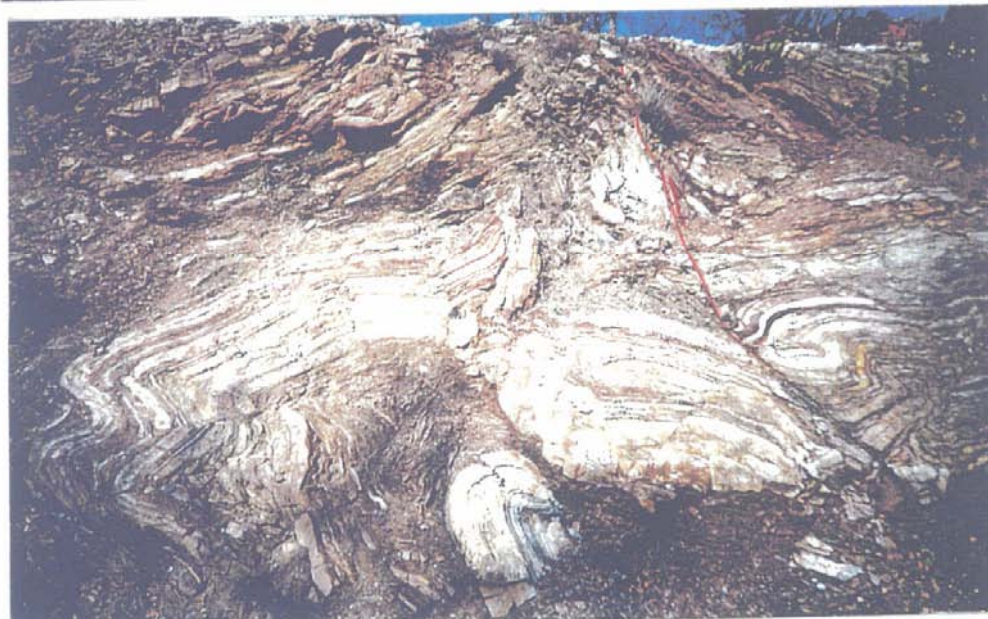
- RASJED KNIN – MUĆ (2), GRANIČI REGIONALNIM STRUKTURNIM JEDINICAMA

Rasjed se pruža granicom između regionalnih strukturalnih jedinica Adriatik (1) i Dinarik (2). Predstavljen je zonom paralelnih reversnih rasjeda vergencije ili pomaka krovinskog krila prema JJZ. Na površini se osobito ističu glavni rasjedi iz zone (3a i 3b) strmim obroncima i usječenim dolinama. U krovinskom krilu uzdiže se Svilaja (3). Tektonska aktivnost u zoni rasjeda i pomaci Svilaje (3) uvjetuju kompresiju prostora i uzdizanje istočnih dijelova Moseća (2) i okolnih lokalnih reversnih struktura.

Slika 3.4.



a



b

U promatranoj zoni nalazi se niz paralelnih reversnih rasjeda. Uz pojedine rasjede stijene su borane. To je znak prisutne kompresije prostora. Izabrani su primjeri izdanaka oko T 79.

- a) U verfenskim naslagama donjeg trijasa u prostoru između niza paralelnih rasjeda nastale su kose, prebačene i polegle bore.
- b) Rasjed u slici ima položaj 23/ 50/ 25/ reversni desni (23 – smjer nagiba rasjeda, 50 - kut nagiba rasjeda, 25-kut zakosa strija koje pokazuju reversni pomak krovinskog krila u desno).

Slika 3.5.



- RASJED ZADAR – TIJESNO – VILAJA – KOZJAK (3), GRANIČI STRUKTURNIM JEDINICAMA

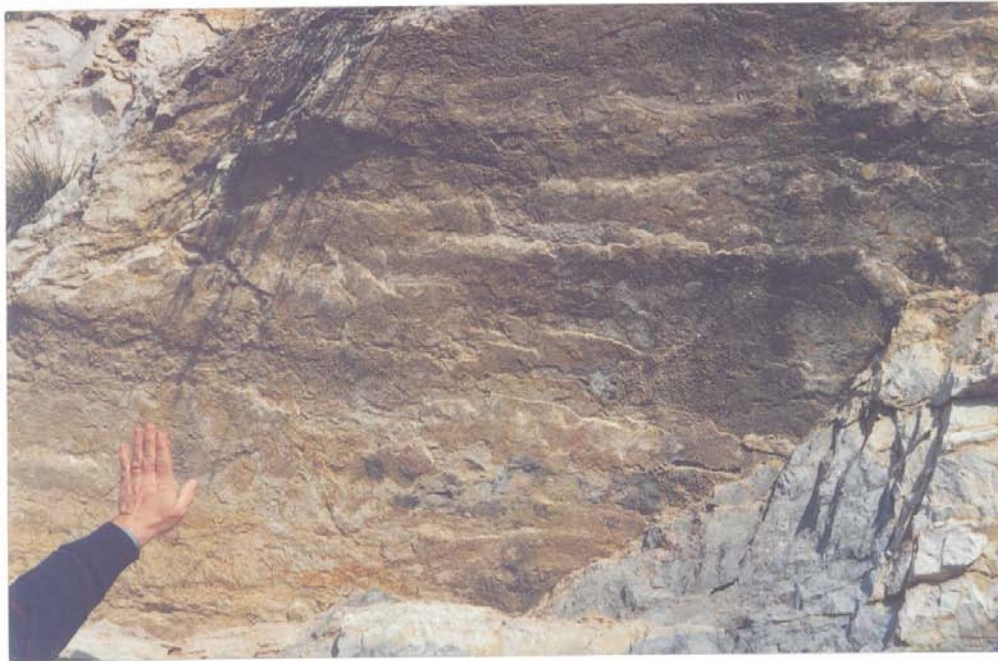
Rasjed graniči strukturnim jedinicama. Na površini se ističe strmac u reljefu duž Kozjaka (1). Zona širine oko 800 m izdvaja se u zapadnom dijelu obuhvaćenog područja. Uočava se i niz ogranaka. Svi rasjedi su reversni vergencije prema J i JJZ.

Na obroncima Opora (4) sjeverno od Kaštela promatrani rasjed i glavni ogranci prepoznatljivi su po izraženim strmcima u reljefu.

Slika 3.6.



a



b

Najbolji izdanci rasjeda nalaze se na serpentinama ceste Kaštela – Lečevica. Postoje otkrivene plohe rasjeda sa strijama.

- a) T 35. Duž kontakta krednih vapnenaca i eocenskih flišnih stijena s brečama nalazi se rasjed. Strije pokazuju položaj 8/ 40/ 75/ reversni desni.
- b) T 37. Rasjed u izdanku svija se po nagibu. Oko ruke u slici nagnut je u brdo, pa strije pokazuju položaj 6/ 42/ 50/ reversni desni.

Slika 3.7.



- RASJED ŠIBENIK – PRIMORSKI DOLAC – OPOR (5), GRANIČI NIZU REVERSNIH STRUKTURA

Rasjed graniči nizu reversnih struktura Boraja – Vilaja – Labištica – Trečanica (2). Predstavljen je zonom koja u Prgometu doseže 400 m širine. Na Kozjaku (1) spaja se s rasjedom Zadar – Tijesno – Vilaja – Kozjak (3), što znači da je i njegov glavni ogranak.

Najbolji izdanak prikazan u slici nađen je na zadnjoj serpentine ceste Kaštela – Lečevica u T 40. U izdanku duž ceste nalazi se nekoliko paralelnih rasjeda položaja 350/ 80/ 120/ reversni lijevi. U pozadini je vrh Birnjac (562 m) koji se nalazi u krovinskom krilu rasjeda.

Slika 3.8.



a



b

RASJED PERKOVIĆ – TROLOKVE – KONJSKO (6)

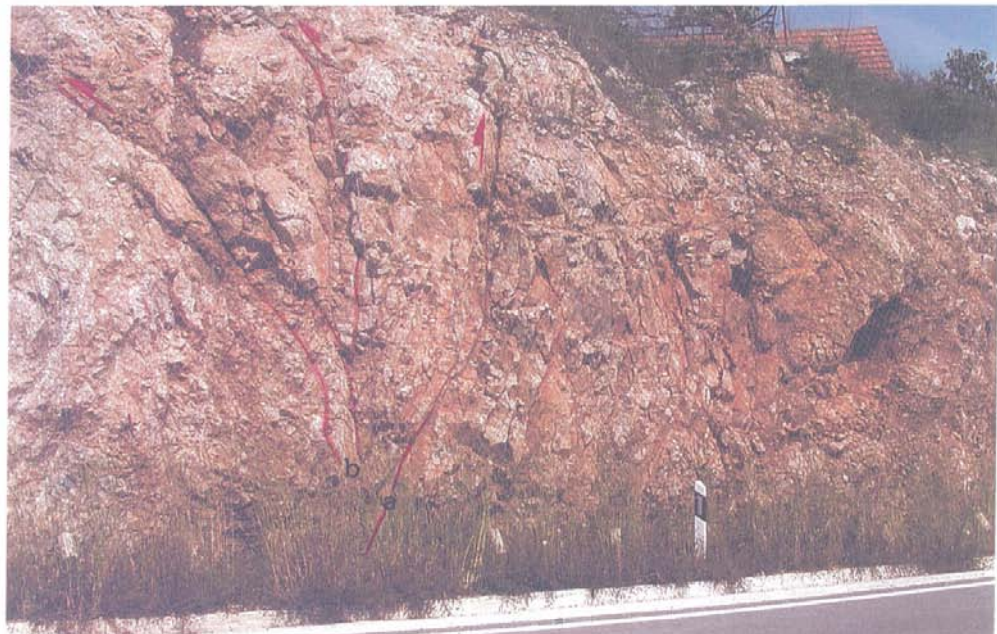
Graniči nizu reversnih struktura Trtar – Lečevica – Konjsko (4). Duž čitave trase odražava se na površini odsječnim obroncima i strmcima u reljefu kod Konjskog. Predstavljen je zonom reversnih rasjeda širine do 400 m i vergencije prema JJZ.

- a) T 50. Cesta Kaštela – Lečevica. U izdanku se uočava zdrobljena zona i plohe rasjeda položaja 10/ 62/ 70/ reversni desni.
- b) T 70. Istočno od sela Brčići. Rasjed iz zone ima položaj 13/ 74/ reversni.

Slika 3.9.



a



b

Najveći izdanak promatranog rasjeda otkriven je uz novu cestu Vučevica – Dugobabe u selu Brčići u T 72

- a) U izrazito zdrobljenoj zoni uočavaju se paralelni rasjedi koji se svijaju po nagibu. Mjeren je položaj 10/ 66/ 70/ reversni desni.
- b) U istom izdanku nađen je primjer mogućeg odnosa glavnog rasjeda (a) i ogranaka (b). Potonji imaju drukčije nagibe i vergenciju. Nastaju u uvjetima kompresije prostora i spajaju se s glavnim rasjedom (a). Mjeren je položaj glavnog rasjeda (a) 5/ 76/ 90/ reversni.

Slika 3.10.

Rasjed Visoka – Lečevica – Pometeno brdo (7) paralelan je prethodnomu. Značajka jesu ogranci koji se pružaju ispred glavne zone. Rasjed graniči nizu reversnih struktura Konjevrate – Unešić – Divojevići – Brštanovo (5). Odražava se u reljefu strmim obroncima. Neposredno u krovinskom krilu rasjeda smještena je lokalna struktura Kozorog – Ljubeč (9). Značajka niza je isticanje pet lokalnih struktura i više reversnih rasjeda različite vergencije. Promatrani rasjed u izdancima uvijek je predstavljen zonom. Dobri izdanci nađeni su u T12 i T62. Rasjedi su položaja 356/ 40/ 52/ reversni desni i 355/ 85/ 68/ reversni desni (slika 3.11.). Od ogranaka ističu se izdanci rasjeda u T32 položaja 15/ 60/ 100/ reversni lijevi (slika 3.12.a) i u T11 položaja 22/ 60/ 94/ reversni lijevi (slika 3.12.b).

Duž najsjevernijeg niza lokalnih reversnih struktura pruža se rasjed Utore – Matasi (8). Mjestimice se odražava u reljefu strmim obroncima i usječenim dolinama. Najvažnija je pojava ogranaka ispred rasjeda i u njegovom krovinskom krilu. Prisutni su reversni rasjedi suprotnih vergencija koji se pružaju duž najistaknutijih dijelova struktura Gornje Utore (14), Donje Utore (15) i Matasi (16). Nagibi rasjeda su različiti, između 48o i 84o. Najbolji izdanak promatranog rasjeda s jasnim strijama nađen je u T4. Mjeren je položaj 328/ 48/ 75/ reversni desni (slika 3.13.).

Najveći broj reversnih rasjeda pruža se duž lokalnih struktura i njihovih najistaknutijih dijelova (prilog 3.2.). Odražavaju se u reljefu mjestimice odsječenim obroncima, ravnocrtnim i usječenim dolinama. Pojedini rasjedi jesu ogranci najvažnijih rasjeda sklopa i tada se mogu nalaziti u seizmotektonski aktivnom prostoru. Ostali jesu prateći rasjedi i često se pružaju duž najistaknutijih dijelova struktura. Uz te dijelove struktura rasjedi imaju suprotne vergencije. Susreću se različiti smjerovi pomaka krila rasjeda. Pretežito su strmog kuta zakosa. Nagibi su najčešće strmi, između 60o i 85o i samo na nekoliko mjesta manji od 50o. U primjerima su uvijek nađene zone različite širine. Pojedini rasjedi spajaju se u dubini u jednu zonu. Od brojnih rasjeda izdvojenih u prilogu 3.2. izabrano je nekoliko istaknutih primjera. Najprije se ističe rasjed koji se pruža duž lokalne strukture Visoka (12), vergencije prema J. U zoni širine oko 8 m u T8 rasjedi imaju položaj 18/ 68/ 115/ reversni lijevi (slika 3.14.).

Od rasjeda vergencije prema JZ izdvaja se izdanak iz relativno šire granične zone lokalne reversne strukture Čardak (17). Rasjed u izdanku ima položaj 52/ 66/ 42/ reversni desni (T20, slika 3.15.a). Blažeg je nagiba rasjed u T87 (slika 3.15.b) položaja 48/ 48/ reversni, koji se pruža duž lokalne strukture Trolokve (6).

U jedanaest točaka motrenja određene su značajke reversnih rasjeda vergencije prema SSI (prilog 3.1.). Pružaju se duž lokalnih struktura, najčešće njihovih najistaknutijih dijelova. Imaju nagibe 50o - 86o. U sjevernom krilu lokalne strukture Biluš (8) nalazi se veliki izdanak zone paralelnih rasjeda položaja 220/ 74/ 110/ reversni lijevi (slika 3.16.). Također velike plohe rasjeda otkrivene su duž strukture Paklenica (7) položaja 190/ 80/ 27/ reversni desni (slika 3.17.).



a



b

- RASJED VISOKA – LEČEVICA – POMETENO BRDO (7)

Graniči nizu reversnih struktura Konjevrate – Unešić – Divojevići – Brštanovo (5). U obuhvaćenom području duž rasjeda ističe se lokalna struktura Kozorog – Ljubeč (9). Rasjed je predstavljen zonom različitih širina i vergencije prema JJZ.

- a) T 12. Dionica ceste Lečevica – Kladnjice. U izdanku se razabire zdrobljena zona i paralelni rasjedi položaja 356/ 40/ 52/ reversni desni.
- b) T 62. U izdanku nešto sjevernije od prethodne točke na plohi iz promatrane zone jasno su izražene strije. Pokazuju položaj 355/ 85/ 68/ reversni desni.

Slika 3.11.



a



b

Slično kao i kod drugih najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa uz promatrani rasjed pojavljuju se ogranci. Prikazuju se dva primjera.

- a) T 32. Sjeverno od sela Bogdanović. Otrkiven je izdanak rasjeda – ogranka promatrane zone. Uočavaju se tri paralelna rasjeda. Njihovo je pružanje paralelno izdanku. Mjeren je položaj 15/ 60/ 100/ reversni lijevi.
- b) T 11. Serpentina ceste kod sela Bogdanović. U zdrobljenoj zoni ističe se rasjed položaja 22/ 60/ 94/ reversni lijevi.

Slika 3.12.



- RASJED GORNJE UTORE – MATASI (8)

Pružna se granicom niza reversnih struktura Gornje Utoře – Matasi (6). Osim glavnog rasjeda postoji i nekoliko ogranaaka. Uočljive su i tri lokalne strukture. Odražava se u reljefu usjećenim dolinama, mjestimice strmim obroncima.

Najbolji izdanak rasjeda s jasnim strijama nađen je u T4 u selu Matasi. Mjeren je položaj 328/48/75/ reversni desni.

Slika 3.13.



PRIMJERI RASJEDA KOJI SE PRUŽAJU DUŽ LOKALNIH REVRSNIH STRUKTURA I NJIHOVIH NAJISTAKNUTIJIH DIJELOVA

Rasjedi su reversni, često predstavljeni zonama. Pojedini rasjedi jesu ogranci najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa ili ih prate duž pružanja. Mogu se nalaziti u seizmotektonski aktivnom prostoru. Različitog su nagiba. Duž najistaknutijih dijelova struktura pružaju se reversni rasjedi suprotnih vergencija. To je odraz kompresije prostora. U dubini se ti rasjedi spajaju u jednu zonu.

Najprije se ističe primjer rasjeda nadenog u T 8 kod crkve Sv. Filip i Jakov u Kladnjicama. Uočava se zdrobljena zona širine oko 8 m. Rasjed se pruža duž lokalne strukture koja je istočni nastavak strukture Visoka (12). Dva paralelna rasjeda u izdanku imaju položaj 18/ 68/ 115/ reversni lijevi.

Slika 3.14.



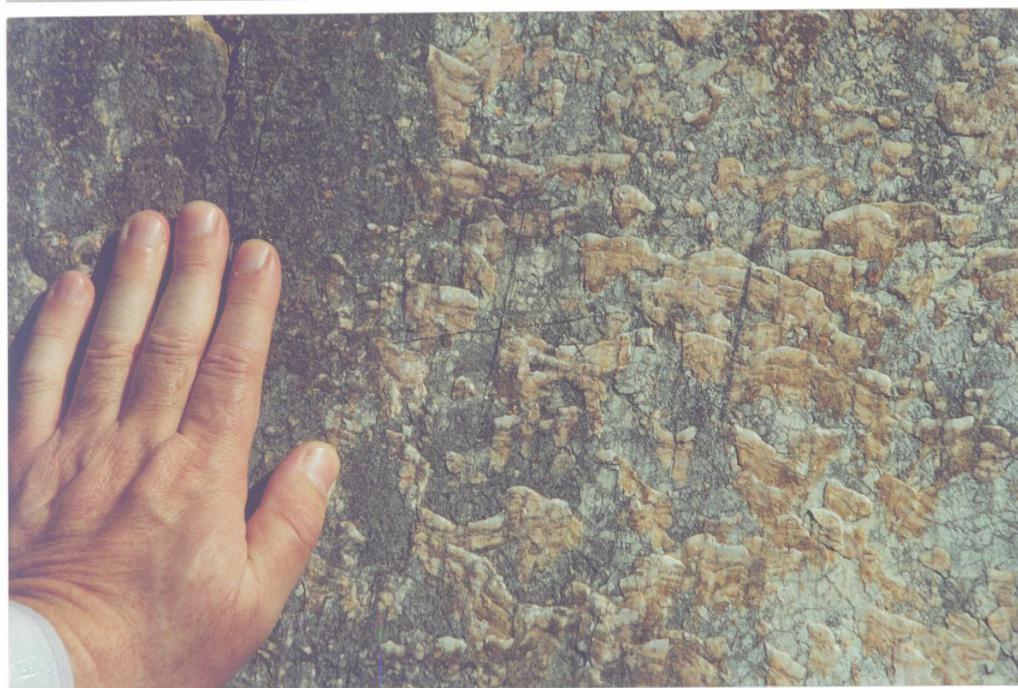
a



b

- a) T 20. Dionica ceste odlagalište otpada – Vinovo. Izdanak rasjeda koji pripada relativno široj zoni graničnoj dijelu lokalne strukture Čardak (17). Rasjed je vergencije prema J. U zdrobljenoj zoni izdanka rasjed je položaja 52/ 66/ 42/ reversni desni.
- b) T 87. Kod brda Gradina uz cestu za Trolokve. Rasjed se pruža duž lokalne strukture Trolokve (6). Uočljiva je zdrobljena zona rasjeda položaja 48/ 48.

Slika 3.15.



Od reversnih rasjeda vergencije prema SSI koji graniče najistaknutijim dijelovima struktura izdvajaju se dva primjera.

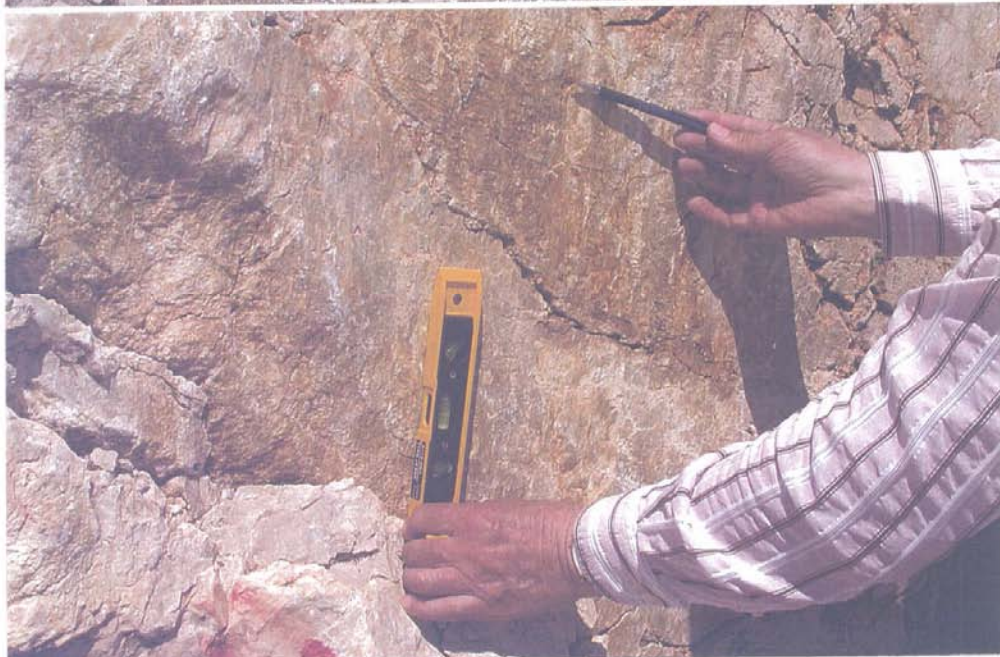
Najbolji se izdanak nalazi uz cestu južno od Lečevice. Graniči relativno većoj strukturi Biluš (8). U većem izdanku otkrivena je zona paralelnih rasjeda (slika a). Zapaža se svijanje pojedinih rasjeda po nagibu (crvena oznaka na desnom kraju izdanka).

Na izdancima rasjeda vrlo izražene strije pokazuju položaj 220/ 74/ 110/ reversni lijevi (slika b).

Slika 3.16.



a



b

- a) T 69. Raskrižje ceste kod sela Topići zapadno od Dugobabe. Izdanak reversnog rasjeda vergencije prema S pruža se duž sjevernog krila lokalne strukture Paklenica (7).
- b) Izdanak tog rasjeda dobar je primjer pojavljivanja dvije generacije strija koje pokazuju pomake strukture u tektonskim aktivnim razdobljima. Mjereni su slijedeći položaji: starije strije (libela): 190/ 80/ 115/ reversni lijevi, te mlade i recentne strije (olovka): 190/ 80/ 27/ reversni desni.

Slika 3.17.

Posebnu skupinu čine rasjedi koji se nalaze unutar struktura (prilozi 3.1. i 3.2.). Različitih su sustava, normalni ili reversni. Pojavljivanje ovisi o kompresiji prostora, orijentaciji kompresijskog stresa, rotaciji i pomacima struktura. Mjestimice čine zone. Znatno doprinose razlomljenosti strukturnog sklopa. Često se uočavaju rasjedi paralelni pružanju osi struktura. Izabrana su dva primjera: u strukturi Trolokve (6) položaja 5/ 58/ 90/ normalni (T48, [slika 3.18.](#)) i u strukturi Kozorog – Ljubeč (9) položaja 218/ 80/ 48/ reversni desni (T10, [slika 3.19.a](#)). Učestalo se pojavljuju rasjedi sustava SZ – JI do SSZ – JJI i sustava SSI – JJZ. To su takozvani rasjedi smicanja s desnim i lijevim horizontalnim pomakom krila. Izdvojena su dva primjera: u strukturi Gornje Utore (14) položaja 28/ 84/ 160/ normalni desni (T23, [slika 3.19.b](#)) i u strukturi Paklenica (7) položaja 25/ 54/ 20/ normalni lijevi (T74, [slika 3.20.](#)). U nekoliko točaka motrenja zapaženi su rasjedi sustava približno S – J paralelni s orijentacijom lokalnog kompresijskog stresa. U njihovim zonama nastaje otvaranje prostora. Dobar primjer otkriven je u T63 položaja 290/ 56 ([slika 3.21.](#)).

U obuhvaćenom strukturnom sklopu posebno značenje imaju rasjedi s prevladavajućom desnom horizontalnom komponentom pomaka krila. To su rasjedi duž kojih se događaju pomaci struktura ili njihovih dijelova uz rotaciju. Rasjedi se protežu preko pojedinih nizova reversnih struktura. Međutim, zbog primarne aktivnosti graničnih rasjeda nizovima ili lokalnim strukturama duž promatranih rasjeda sustava SZ – JI do SSZ – JJI različito se, uz rotaciju, pomiču pojedine strukture ili njihovi dijelovi. Naglašava se postojanje zona ili skupina paralelnih rasjeda ([prilog 3.2.](#)). Rasjedi su normalni i reversni, pojedini predstavljeni zonama različite širine. Značajni su primjeri izdanaka rasjeda u slijedećim točkama motrenja ([prilog 3.1.](#)): T56 položaj rasjeda 114/ 86/ 0/ normalni desni ([slika 3.22.](#)), T7 položaj rasjeda 44/ 82/ 12/ reversni desni ([slika 3.23.a](#)), T26 položaj rasjeda 248/ 78/ 28/ reversni desni ([slika 3.23.b](#)), T3 položaj rasjeda 230/ 76/ 38/ reversni desni ([slika 3.24.a](#)) i T2 položaj rasjeda 62/ 88/ 0/ normalni desni ([slika 3.24.b](#)).

U granicama odlagališta otpada i u neposrednoj okolici nađeno je 17 izdanaka rasjeda pogodnih za mjerenje potrebnih podataka ([prilog 3.1. dodatna karta](#)). Otkrivena su tri sustava rasjeda. Najvažniji su rasjedi koji pripadaju zoni koja graniči najistaknutijem dijelom lokalne reversne strukture Zmajevac – Lovreč (13). Zona je širine 120 – 250 m i prelazi preko odlagališta otpada. Najbolji izdanak nađen je u T30 u zoni paralelnih rasjeda položaja 350/ 70/ 60/ 120/ reversni lijevi ([slika 3.25.](#)). Unutar granica odlagališta otpada rasjedi iz spomenute zone mjereni su u točkama: T1b, položaja 332/ 62/ 80/ reversni desni i T1d položaja 28/ 36/ 82/ reversni desni ([slika 3.26.](#)). Rasjedi s prevladavajućom desnom horizontalnom komponentom pomaka krila sustava SZ – JI najbolje su otkriveni u T2 i T3 ([slika 3.23.](#)).



PRIMJERI RASJEDA KOJI SE NALAZE UNUTAR STRUKTURA

Unutar struktura mogu se pojaviti rasjedi različitog sastava. Podaci o njima znatno doprinose uočavanju razlomljenosti, pomaka i aktivnosti struktura, pa i čitavog obuhvaćenog strukturnog sklopa. Mogu biti normalni i reversni. Njihov nastanak i aktivnost ovise o općim tektonskim pokretima, uvjetima kompresije prostora i pomacima struktura ili njihovih dijelova.

Često se pojavljuju rasjedi paralelno pružanju osi strukture. Rasjedi su većinom normalni, mjestimice reversni. Izabran je primjer izdanka rasjeda otkrivenog u T 48 u dijelu strukture Trolokve (6). U zoni paralelnih rasjeda mjereno je položaj 5/ 58/ 90/ normalni.

Slika 3.18.



a



b

- a) T 10. Selo Bogdanović. U dijelu strukture Kozorog – Ljubeč (9) u zdrobljenoj zoni ističe se rasjed s izraženim strijama položaja 218/ 80/ 48/ reversni desni.

U obuhvaćenom području učestalo se pojavljuju rasjedi sustava SZ – JI do SSZ – JJI. Unutar struktura to su rasjedi smicanja s desnim horizontalnim pomakom krila.

- b) T 23. Dionica ceste odlagalište otpada – Vinovo zapadno od sela D. Božići u strukturi Gornje Utore (14). U manjoj zoni rasjeda mjeren je položaj 28/ 84/ 160/ normalni desni.

Slika 3.19.



a



b

Unutar pojedinih struktura učestali su i rasjedi sustava približno SSI – JJZ. To su rasjedi smicanja s lijevim horizontalnim pomakom krila. Najčešći su normalni rasjedi. Najbolji izdanak nalazi se u T 74 uz cestu Vučevica – Dugobabe u strukturi Paklenica (7). U izdanku su osobito izražene velike strije, koje pokazuju položaj 25/ 54/ 20/ normalni lijevi.

Slika 3.20.



a



b

Unutar pojedinih struktura susreću se i tzv. tenzijski rasjedi paralelno orijentaciji kompresijskog stresa. U njihovim zonama nastaje otvaranje prostora ili "zjap" pogodan za cirkulaciju podzemne vode.

- a) T 63. Cesta Lečevica – Kladnjica. U izdanku rasjeda u dijelu strukture Kozorog – Ljubeč (9) mjereno je položaj 290/ 56. Zbog otvaranja prostora u zoni rasjeda taložen je kalcit.
- b) U detalju se razabire ponovno razmicanje kalcita i u nastalom prostoru taloženje gline.

Slika 3.21.



PRIMJERI RASJEDA S PREVLADAVAJUĆOM DESNOM HORIZONTALNOM KOMPONENTOM POMAKA KRILA

U strukturnom sklopu posebno su uočljivi rasjedi sustava SZ – JI do SSZ – JJI. Tvore zone ili skupine paralelnih rasjeda i presjecaju nizove reversnih struktura, većinom i strukturne jedinice. Duž rasjeda prevladava desna horizontalna komponenta pomaka krila. Osobito se ističu rasjedi između Utor, Divojevića, Lečevice, zatim Utor, Barana, Lečevice i Konjskog, te posebno duž obuhvaćenog dijela Moseća (2) i oko Brštanova, gdje su pojedini rasjedi i strukture znatnije pomaknuti u desno.

Pojedini rasjedi predstavljeni su zonama paralelnih rasjeda ili snopova rasjeda. Za primjer je izabran izdanak u T 56 na cesti južno od Lečevice. Rasjedi imaju položaj 114/ 86/ 0/ normalni desni.

Slika 3.22.



a



b

- a) T 7. Dionica ceste Lečevica – odlagalište otpada kod sela Barani. U istaknutoj zoni koja se pruža preko nizova reversnih strukutra otkriven je i izdanak rasjeda položaja 44/ 82/ 12/ reversni desni. Uočljiv je niz paralelnih rasjeda u zdrobljenoj zoni.
- b) T 26. Uz cestu sjeveroistočno od odlagališta kod sela Jurasi. U zoni rasjeda nalaze se šupljine ispunjene kalcitom. Mjeren je položaj 248/ 78/ 28/ reversni desni.

Slika 3.23.



a



b

- a) T 3. Cesta jugoistočno od odlagališta otpada. U istaknutom nizu paralelnih rasjeda s prevladavajućom desnom horizontalnom komponentom pomaka krila nalazi se izdanak rasjeda položaja 230/ 76/ 37/ reversni desni.
- b) T 2 uz cestu neposredno istočno od odlagališta otpada otkriven je manji izdanak rasjeda položaja 62/ 88/ 0/ normalni desni.

Slika 3.24.



PRIMJERI RASJEDA NA LOKACIJI ODLAGALIŠTA OTPADA

U granicama lokacije odlagališta otpada i u neposrednoj okolici otkrivena su tri sustava rasjeda. Izdanci rasjeda su uglavnom djelomice otkriveni. Na većini ploha uočene su strije. Najvažniji su rebrsni rasjedi koji pripadaju zoni koja graniči najistaknutijem dijelu lokalne rebrsne strukture Zmajevac – Lovreč (13). Zona je širine 120 – 250 m i prelazi preko odlagališta otpada.

Dobar izdanak rebrsnih rasjeda nalazi se uz cestu kod ulaza u razmatranu lokaciju u T 30. U zdrobljenoj zoni razabiru se četiri paralelna rasjeda položaja 350/ 70/ 120/ rebrsni lijevi. Oko točke motrenja od spomenute zone odvaja se rasjed koji se pruža duž granice krednih i eocenskih vapnenaca.

Slika 3.25.



a



b

Unutar granica odlagališta otpada točke motrenja označene su slovima a – g i priključene su T 1.

- a) T 1b. Izdanak krovinskog krila rasjeda koji pripada zoni graničnog rasjeda lokalne revarsne strukture Zmajevac – Lovreč (13). Strije (strijelica) na otkrivenom krovinskom krilu rasjeda pokazuju položaj 336/ 62/ 80/ reversni desni.
- b) T 1d. Izdanak podinske plohe rasjeda iz iste zone. Strije (strijelica) pokazuju položaj 28/ 36/ 82/ reversni desni.

Slika 3.26.

Unutar granica odlagališta otpada u T1a nađen je izdanak istog sustava rasjeda položaja 60/ 70 (slika 3.27.a).

U tri točke motrenja otkriveni su rasjedi sustava SSI – JJZ do S – J. Imaju lijevi pomak krila. U točkama T27, T1g i T1f paralelni su s orijentacijom lokalnog kompresijskog stresa. Ističu se položaji: 296/ 80/ 50/ normalni lijevi (T1c, slika 3.27.b), 270/ 74/ 70/ normalni lijevi (T1g, slika 3.28.a), 280/ 80 (T1f, slika 3.28.b) i 92/ 84/ 20/ normalni lijevi (slika 3.29.).

Izdvojeni rasjedi ukazuju na relativno veću razlomljenost stijena na lokaciji odlagališta otpada. Najvažniji je položaj lokacije u zoni reversnih rasjeda graničnih lokalnoj strukturi Zmajevac – Lovreč (13, prilog 3.2.). Detaljni prikaz trasa rasjeda i njihov odnos na površini uočava se u satelitskoj snimci u slici 3.30. Rasjedi sustava SZ – JI ocrtavaju se prekidima i pomacima slojeva. Trase reversnih rasjeda iz granične zone lokalne strukture Zmajevac – Lovreč (13) i rasjedi sustava SSI – JJZ do S – J uočavaju se prekidima slojeva i posebno tamnim crtama koje označavaju strme obronke i usječene doline u reljefu. Osobito se uočavaju prekidi rasjedi sustava SSI – JJZ do S – J ostalim rasjedima.

3.1.2. Tektonska aktivnost, odnosi i pomaci struktura

U prilogu 3.2. rasjedi su klasificirani prema važnosti u strukturnom sklopu, tipu, genezi i pomacima krila. Odnosi i pomaci struktura izravno ovise o položajima relativno velikih kompleksa stijena različite gustoće u dubini koji izgrađuju strukturne jedinice. U uvjetima kompresije prostora veće mase tih stijena uzdižu se prema površini i stvaraju reversne strukture. Između pojedinih kompleksa stijena uspostavlja se polje stresa. Maksimalni kompresijski stres pokazuje osnovne strukturne odnose, zapravo položaje i pomake kompleksa stijena različite gustoće u obuhvaćenom dodirnom prostoru regionalnih strukturnih jedinica (slika 3.1.). Mjerenja na terenu pokazuju orijentaciju lokalnog kompresijskog stresa, a srednja orijentacija stanje unutar nizova reversnih struktura.

Zapaža se da je orijentacija maksimalnog kompresijskog stresa poprečna i većinom gotovo poprečna na pružanje struktura i rasjeda (slika 3.1., prilog 3.2.). Izmjerena je orijentacija 15 - 195o oko Trogira do 355 - 175o kod Ramljana u zoni rasjeda Knin – Muć (2). Prisutna orijentacija stresa rezultira kompresijom prostora i reversnim pomacima krila rasjeda koji graniče nizovima reversnih struktura. Ipak, blago skretanje orijentacije maksimalnog kompresijskog stresa idući od obale u unutrašnjost ukazuje i na postojanje rotacije dijelova strukturnih jedinica.



a



b

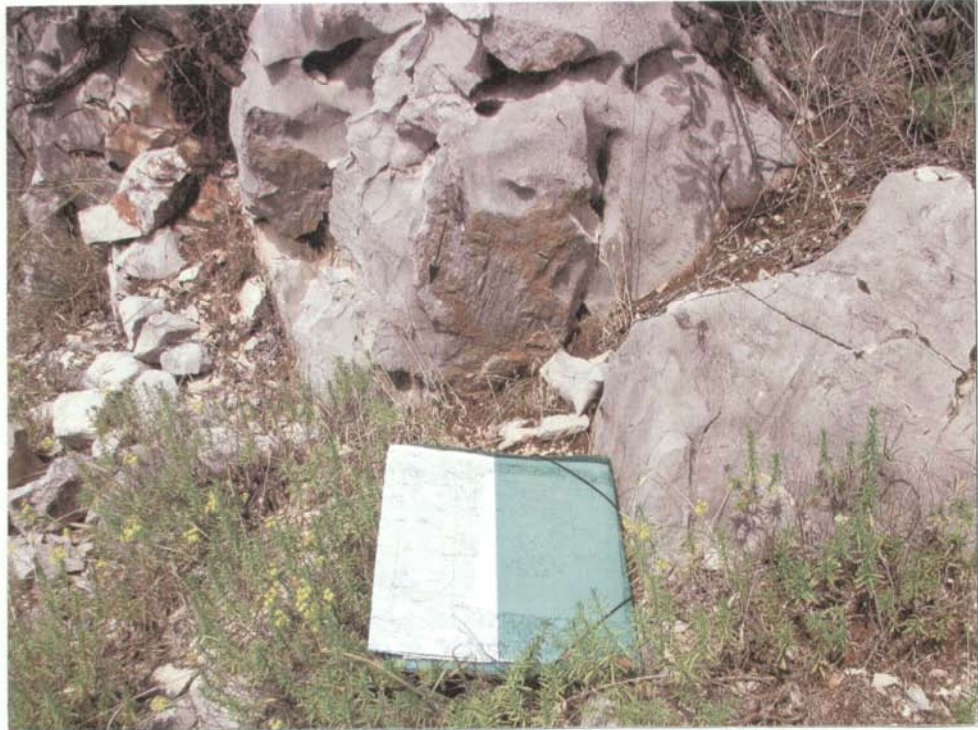
Lokalnu strukturu Zmajevac – Lovreč (13) sijeku, uz pomake dijelova strukture, rasjedi sustava SZ – JI.

- a) Unutar granice odlagališta otpada otkriven je izdanak rasjeda iz spomenutog sustava u T 1a. Mjeren je položaj 60/ 70. Strije nisu nađene, ali se rasjedi istog sustava nalaze u T 2 i T 3 (slika 3.23.) uz cestu istočno od promatrane lokacije.

Na odlagalištu otpada u tri točke motrenja otkriveni su rasjedi sustava SSI – JJZ do S – J. Rasjedi imaju lijevi pomak krila.

- b) T 1c. U izdanku strije (strijelica) pokazuju položaj 296/ 80/ 50/ normalni lijevi.

Slika 3.27.



a



b

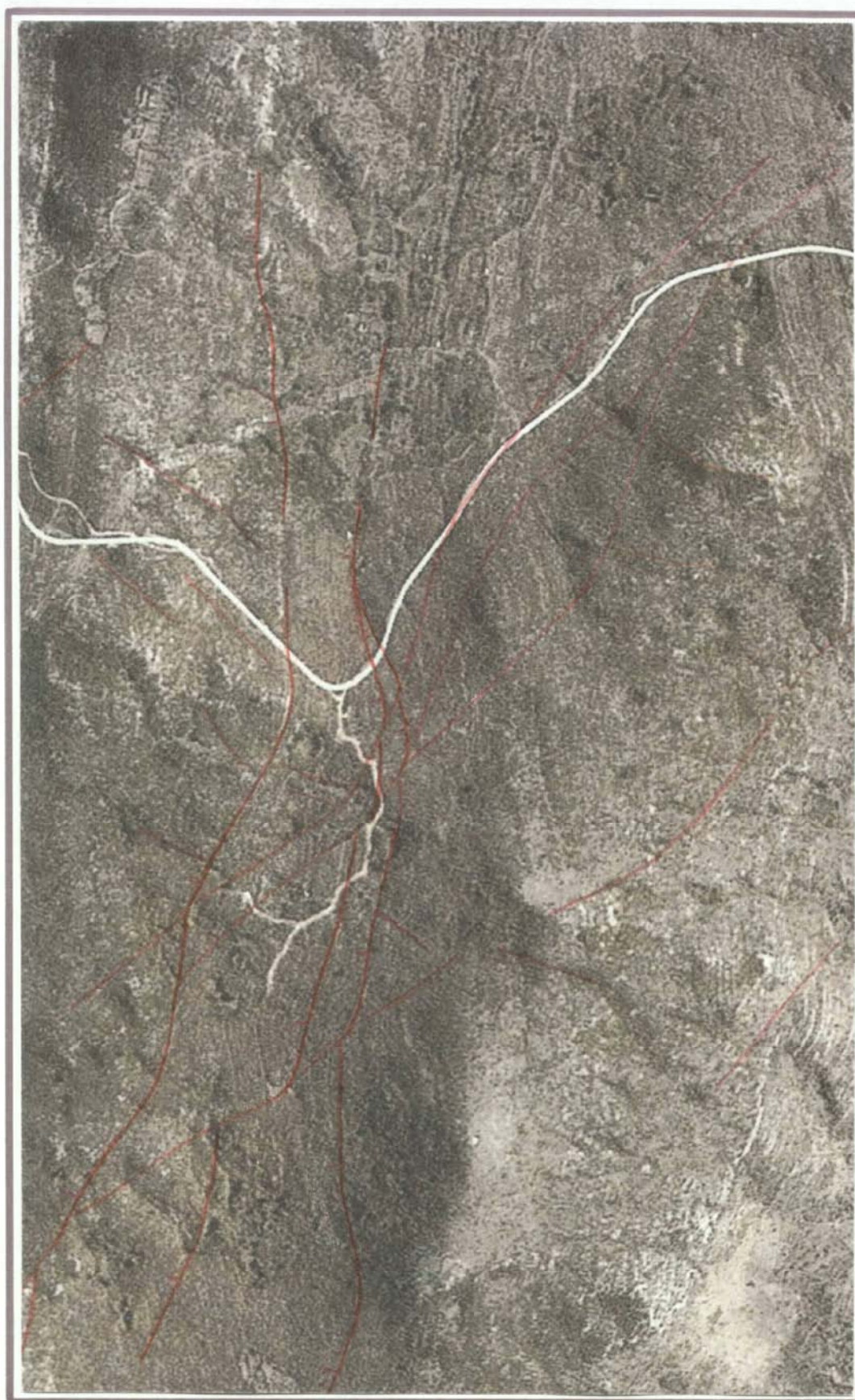
- a) T 1g. Manji izdanak rasjeda iz sustava S – J. Jasne strije označavaju položaj 270/ 74/ 70/ normalni lijevi.
- b) T 1f. Istom sustavu pripada rasjed položaja 280/ 80. U izdanku su prisutna dva paralelna rasjeda.

Slika 3.28.



Uz cestu u T 27 neposredno kod ulaza u odlagalište otpada nađen je još jedan dobar izdanak rasjeda iz sustava S – J. Otkriveno je krovinsko krilo rasjeda sa strijama (strijelica). Mjeren je položaj 92/ 84/ 20/ normalni lijevi.

Slika 3.29.



SATELITSKI SNIMAK LOKACIJE ODLAGALIŠTA

(Crvenim crtama označeni su rasjedi. Duž njihovih trasa razabiru se prekidi i pomaci slojeva stijena)

Slika 3.30.

Orientacija kompresijskog stresa unutar pojedinih nizova reversnih struktura omogućava detaljnije uočiti uzajamne osnove stresa i deformacija struktura. Zapažaju se manje promjene orijentacije stresa. Mjerenja pokazuju slijedeće vrijednosti: niz Boraja – Vilaja – Labištica (2) 10 - 190^o i 15 - 195^o, niz Šibenik – Opor – Kozjak (3) između 12 - 192^o u Kozjaku do 350 - 170^o kod Prgomet, niz Trtar – Lečevica – Konjsko (4) uz zonu rasjeda Perković – Trolokve – Konjsko (6) 20 - 200^o zatim 10 - 190^o kod Lečevice do 340 - 160^o i kod Bogdanovića, niz Konjevrate – Unešić – Divojevići – Brštanovo (5) 27 - 207^o kod Lečevice do 350 - 170^o kod Brštanova i 355 - 175^o kod lokacije odlagališta, te niz Gornje Utoje – Matasi (6) između 8 - 188^o i 350 - 170^o (Matasi). Zapaža se da se naglije promjene orijentacije kompresijskog stresa događaju oko pojedinih nizova rasjeda sustava SZ – JI, osobito na potezu između Utoje, Lečevice, Dugobabe i Konjskog.

Tektonski su najaktivnije dionice rasjeda poprečnog ili gotovo poprečnog pružanja prema orijentaciji kompresijskog stresa ([prilog 3.2.](#)). Takvi pomaci posljedica su kompresije prostora uz stvaranje reversnih struktura. Zbog promjene orijentacije stresa događa se rotacija struktura i aktiviranje rasjeda sustava SZ – JI duž čijih pojedinih dionica prevladava horizontalna komponenta pomaka krila. Duž najaktivnijih dionica rasjeda uvijek su prisutni poprečni ili gotovo poprečni pomaci njihovih krovinskih krila. Najaktivnije dionice najvažnijih rasjeda strukturnog sklopa posebno su označene u [prilogu 3.2.](#)

3.2. Seizmotektonski model

Uzročnici potresa jesu tektonski poketi čije se ishodište nalazi u pomacima Jadranske mikroploče. Dodatno, mikroploča gura pred sobom dijelove jedinice Adriatik (1). Zbog odupiranja tim pomacima stvara se široki prostor kompresije duž dodira jedinica Adriatik (1) i Dinarik (2). Stijene se u dubini boraju i rasjedaju, te reversno pomiču duž rasjeda koji dopiru do površine. Te procese prati pojavljivanje potresa. U obuhvaćenom području ključna je rasprostranjenost, pružanje i položaj velikih kompleksa stijena različite gustoće u dubini koje izgrađuju pojedine strukturne jedinice. Najveća kompresija prostora događa se duž dodira regionalnih strukturnih jedinica. Izdvajaju se prostori Svilaje (3) uključujući Prominu i Moseć (2), zatim Mosora i njegovog zaleda, te Šibenskih otoka, Rogoznice i Trogira. U tim prostorima postoji najveća koncentracije epicentara potresa, a događaju se i potresi veće jakosti. Kompleksi stijena u dubini spomenutih prostora svojim pomacima dodatno utječu na oblikovanje obuhvaćenog strukturnog sklopa i povećanje seizmotektonske aktivnosti.

Seizmotektonski profil ([slika 3.31.](#)) najbolje pokazuje aktivnost područja oko lokacije regionalnog centra čistog okoliša. Najvažnije jest pojavljivanje žarišta potresa u zonama koje se pridružuju rasjedima utvrđenima na površini. Potresi se nalaze na dubinama do 20 km. Najjači potresi i najviše potresa pridružuju se zonama rasjeda Knin – Muć (2), Zadar – Vilaja – Kozjak (3), Novigrad – Drniš – Moseć (4) i Bračkom rasjedu (9). Posebno je uočljivo spajanje pojedinih rasjeda ili zona u dubini. Sigurno je spajanje rasjeda Novigrad – Drniš – Moseć (4) sa zonom rasjeda Knin – Muć (2) na dubini oko 15 km. Također se u dubini pojedini rasjedi granični nizovima reversnih struktura spajaju sa zonom rasjeda Zadar – Vilaja – Kozjak (3). Reversni rasjed koji graniči lokalnoj strukturi Zmajevac – Lovreč (13) spaja se na dubini oko

10 km s rasjedom Gornje Utoře – Matasi (8). U zonama tih rasjeda događaju se potresi (slika 3.31.). Rasjed se na površini nalazi sjeverno od lokacije odlagališta otpada na udaljenosti oko 1,5 km.

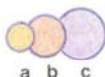
Prikazane odlike regionalnog i šireg lokalnog strukturnog sklopa i poznate seizmičke aktivnosti ukazuju da se lokacija odlagališta otpada nalazi u seizmotektonski aktivnom prostoru. Strukturna jedinica Šibenska i Trogirska Zagora (1) predstavlja zaseban seizmički izvor. Za odredbu maksimalnih magnituda potresa u tom izvoru uzeti su u obzir potresi koji su se dogodili, te duljine najaktivnijih dionica rasjeda i veličine seizmotektonski aktivnog prostora. U usporedbi sa svjetskim mjerilima (Welles & Coppersmith, 1994) na temelju uzetih seizmoloških i geoloških parametara najjači potres u seizmičkom izvoru može imati magnitudu 6,2.

SEIZMOTEKTONSKI PROFIL

Legenda:



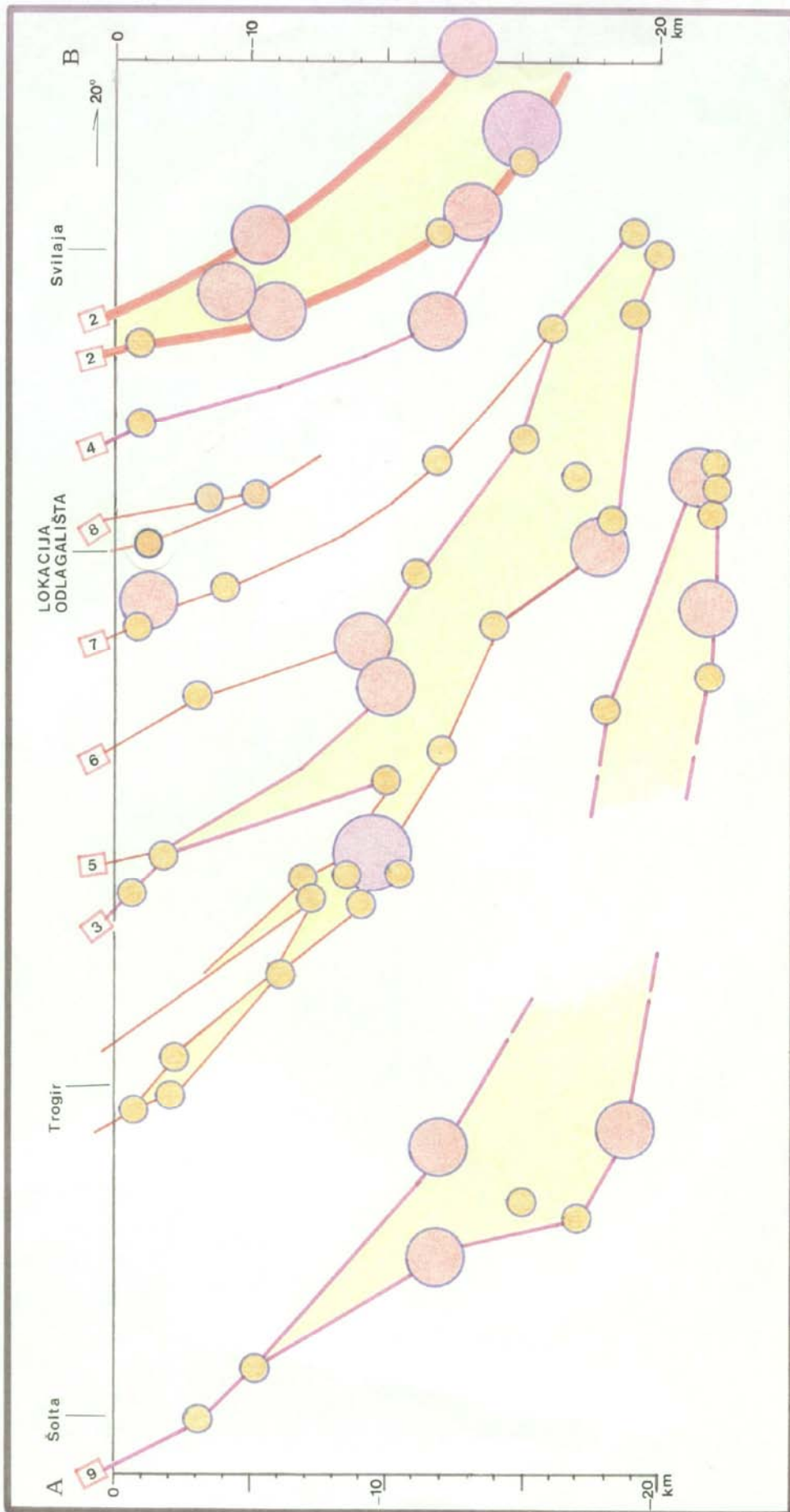
NAJVAŽNIJI I SEIZMOTEKTONSKI NAJAKTIVNIJI RASJEDI STRUKTURNOG SKLOPA:
2 – RASJED KNIN – MUĆ; 3 – RASJED ZADAR – VILAJA – KOZJAK; 4 – RASJED NOVIGRAD – DRNIŠ – MOSEĆ; 5 – RASJED ŠIBENIK – PRIMORSKI DOLAC – OPOR; 6 – RASJED PERKOVIĆ – TROLOKVE – KONJSKO; 7 – RASJED VISOKA – LEČEVICA – POMETENO BRDO; 8 – RASJED GORNJE UTORE – MATASI; 9 – BRAČKI RASJED



EPICENTRI POTRESA MAGNITUDE:
a) < 3,9, b) 4,0 – 4,9, c) 5,0 – 5,9



SEIZMOTEKTONSKI AKTIVNE ZONE



SEIZMOTEKTONSKI PROFIL

Slika 3.31.

4. INŽENJERSKO - SEIZMOLOŠKI PARAMETRI

4.1. Odabir atenuacijskih funkcija

Seizmički hazard na lokaciji obično se izražava pomoću procijenjene vjerojatnosti premašivanja odabranog parametra koji karakterizira gibanje tla. Najčešće se za to odabire maksimalna horizontalna akceleracija (PGA) tla za vrijeme potresa i makroseizmički intenzitet (I_{max}). Na rezultat će najveći utjecaj imati odabir empirijske atenuacijske relacije koja povezuje očekivane iznose PGA (ili I_{max}) s magnitudom potresa, udaljenošću lokacije od izvora, dubinom žarišta, lokalnim uvjetima tla, tipom rasjedanja na uzročnom rasjedu, i sl. Nastoje se odabrati takve relacije koje su izvedene koristeći podatke s područja koje je geološki i tektonski usporedivo sa istraživanim, te koje su izvedena za što je moguće veći raspon magnituda i udaljenosti, kako bi se potrebne ekstrapolacije svele na minimum. Za potrebe ove studije odabrane su sljedeće tri relacije:

Herak M., Markušić S., Ivančić I. (2001):

$$\log PGA_{HMI} (g) = -1.300 + 0.331M_L - 1.152 \log \sqrt{D^2 + 11.8^2}, \quad \sigma = 0.311$$

PGA_{HMI} je veća od dvije horizontalne komponente, D je epicentralna udaljenost u km, M_L je lokalna magnituda potresa, a σ je standardna devijacija od $\log(PGA)$. Relacija je izvedena za potrese uglavnom s područja Dinarida i vrijedi za tlo kategorije A prema Eurocode 8.

Sabetta F., Pugliese A. (1987):

$$\log PGA_{SP} (g) = -1.845 + 0.363M_L - \log \sqrt{D^2 + 25} + S, \quad \sigma = 0.19$$

PGA_{SP} je veća od dvije horizontalne komponente, D je epicentralna udaljenost u km, M_L je lokalna magnituda potresa, a σ je standardna devijacija od $\log(PGA)$. Relacija je izvedena za područje Italije (uglavnom Furlanija). Parametar S definira tip tla, $S = 0.195$ vrijedi za plitke sedimente, a $S = 0.0$ za duboke sedimente i ili čvrsto tlo. Ovdje se rabi $S = 0.0$.

Ambraseys N. N., Douglas J., Sarma J., Smit P. M. (2005):

$$\log PGA_{ASDS} (ms^{-2}) = 2.522 - 0.142M_W + (-3.184 + 0.314M_W) \log \sqrt{D^2 + 7.6^2} + S + F$$
$$(\sigma_1 = 0.665 - 0.065M_W, \quad \sigma_2 = 0.222 - 0.022M_W, \quad \sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = -0.06862M_W + 0.7011)$$

$S = 0.137$ za meko tlo, $S = 0.050$ za tvrdo tlo; $F = -0.084$ za normalne rasjede, $F = 0.062$ za reversne rasjede.

PGA_{ASDS} je veća od dvije horizontalne komponente, D je epicentralna udaljenost u km, M_W je momentna magnituda potresa, a σ je standardna devijacija od $\log(PGA)$. Relacija je nedavno izvedena za brojne potrese širom Europe i Srednjeg Istoka. Za potrebe ove studije koristi se $S = 0.050$ i $F = 0.062$. Magnitude M_L preračunate su u M_W prema:

$$M_w \approx M_s \approx 1.33M_L - 1.73.$$

Ove tri relacije rabile su se pri procjeni hazarda posve ravnopravno, a za konačnu procjenu uzet je njihov prosjek:

$$PGA = (PGA_{HMI} + PGA_{SP} + PGA_{ASDS}) / 3.$$

Maksimalni intenzitet potresa na lokaciji procijenjen je pomoću relacije (Sponheuer, 1960):

$$I_{max} = I_o - 3 \log (r / h) - 3 \mu \alpha (r - h)$$

gdje su : α – koeficijent atenuacije makroseizmičkog intenziteta (ovdje $\alpha = 0.005$ 1/km); r – hipocentralna udaljenost; h – dubina žarišta; $\mu = \log e = 0.4343$; intenzitet I_o definiran je relacijom (Herak, 1989):

$$I_o = 3.63 + 1.14 M - 2.11 \log h.$$

4.2. Proračun seizmičkog hazarda i rizika

Inženjersko-seizmološkim istraživanjima određuju se ulazni parametri za proračun utjecaja seizmičkih sila na istraživanoj lokaciji. Najčešće se radi o najvećim očekivanim iznosima akceleracije gibanja tla i intenziteta potresa na lokaciji. Proračun tih parametara proveden je u ovoj studiji probablističkom Cornellovom metodom, korištenjem modificiranog kompjuterskog programa EQRISK (McGuire, 1976) i stohastičkom metodom Monte Carlo (Ebel and Kafka, 1999), kojima su seizmički parametri definirani kao funkcije povratnog perioda.

◆ Cornellova metoda

McGuireov algoritam za proračun seizmičkog hazarda baziran je na tzv. teoremu totalne vjerojatnosti, prema kojemu se vjerojatnost pojave određenoga događaja računa multipliciranjem uvjetnih vjerojatnosti s neovisnim vjerojatnostima slučajne varijable, i integriranjem preko svih mogućih vrijednosti slučajne varijable. Potrebno je naglasiti da se takav pristup bitno razlikuje od onoga koji se koristi kod primjene teorije ekstrema, a kod kojega je jedini uzorak na temelju kojega se vrši proračun uzorak opaženih ekstrema na samoj lokaciji koja se istražuje. Utjecaj događaja u okolini lokacije uključen je u razmatranje samo implicitno.

Često korišteni model za predviđanje vremenskoga tijeka seizmičke aktivnosti u budućnosti jest Poissonov model. On se može napisati u obliku

$$P_n(t) = (e^{-l*t} (l*t)^n) / n!$$

gdje je $P_n(t)$ vjerojatnost pojave n događaja u vremenskom intervalu t , a l je prosječno pojavljivanje. Kod primjene toga modela u seizmologiji, pojave potresa predstavljaju prostorno i vremenski neovisne događaje. Uz pretpostavku da je relacija ponovljivosti magnitude potresa logaritamsko-linearnog oblika (Gutenberg-Richterova relacija):

$$\log N(M) = a + bM$$

gdje je M magnituda potresa, N broj potresa magnitude veće ili jednake M , a a i b su konstante za određeno područje (seizmički izvor), tada uvrštavanje gornje relacije u prethodnu daje

$$P_n(M,t) = e^{-t \exp(a+bM)} (t e^{a+bM})^n / n!$$

U toj relaciji $P_n(M,t)$ označava vjerojatnost pojave n potresa magnitude M ili veće u vremenskom intervalu t .

Seizmički rizik $R(M,t)$ definiran je kao vjerojatnost pojave barem jednog potresa magnitude M ili veće u vremenskom intervalu t :

$$R(M,t) = 1 - P_0(M,t) = 1 - e^{-t \exp(a+bM)}$$

◆ Stohastički Monte Carlo postupak

Metoda “Monte Carlo” se ovdje primjenjuje u smislu generiranja velikog broja sintetskih kataloga potresa po uzoru na katalog dogođenih potresa. Svaki od kataloga dati će ekstremnu vrijednost akceleracije i intenziteta na promatranoj lokaciji. Program obuhvaća i statističku obradu tih podataka u svrhu definiranja seizmičkog hazarda. Time se izbjegavaju manjkavosti koje u klasičnom probabilističkom postupku nastaju zbog kauzalne ovisnosti rezultata o potpunosti kataloga potresa i vremenskoj promjenljivosti parametara modela seizmičnosti. Nizom računalskih programa za sve korake koje sadrži ovaj postupak (Allegretti i Herak, 2000), provedena je u prvom koraku ekstrakcija glavnih potresa iz općeg kataloga potresa. U programu su korišteni statistički parametri modela seizmičnosti pojedinih zona, a pretpostavljeno je da se razdioba čestina javljanja potresa može opisati s desna ograničenom (modificiranom) logaritamskom Gutenberg-Richterovom razdiobom čestina javljanja potresa.

4.2.1. Statističke značajke seizmičkih izvora

U svrhu određivanja statističkih značajki seizmičnosti razmatranih područja potrebno je definirati empiričku razdiobu potresa u odnosu na magnitudi, što je osnova za probabilističku procjenu seizmičkog hazarda. Kako događanje potresa ima tipična fraktalna svojstva, to se odnos broja jakih i slabih potresa iskazuje Gutenberg-Richterovom relacijom:

$$\log N = a - b M$$

Ovdje je N broj potresa s magnitudom M , a i b su koeficijenti. Koristi se kumulativna verzija gdje je N broj potresa s magnitudom većom ili jednakom M , dok je $(\log a)$ tada broj potresa s magnitudom $M \geq 0$ (obično normiran na jednu godinu), dok koeficijent b daje odnos logaritma broja potresa s velikim i malim magnitudama. Njegova je prosječna vrijednost za potpune kataloge potresa 0.75–1.15. U realnom računu donju granicu magnituda definirat će potpunost kataloga potresa s kojim se raspolaže, dok se gornja granica najčešće definira na temelju magnitude najvećeg dogođenog potresa iz kataloga, koju se tada usklađuje s potencijalom prirodne duljine rasjeda, te elastičkim i reološkim svojstvima Zemljine unutrašnjosti u tom području. To uvodi modifikaciju Gutenberg-Richterove relacije u odnosu na maksimalnu magnitudu.

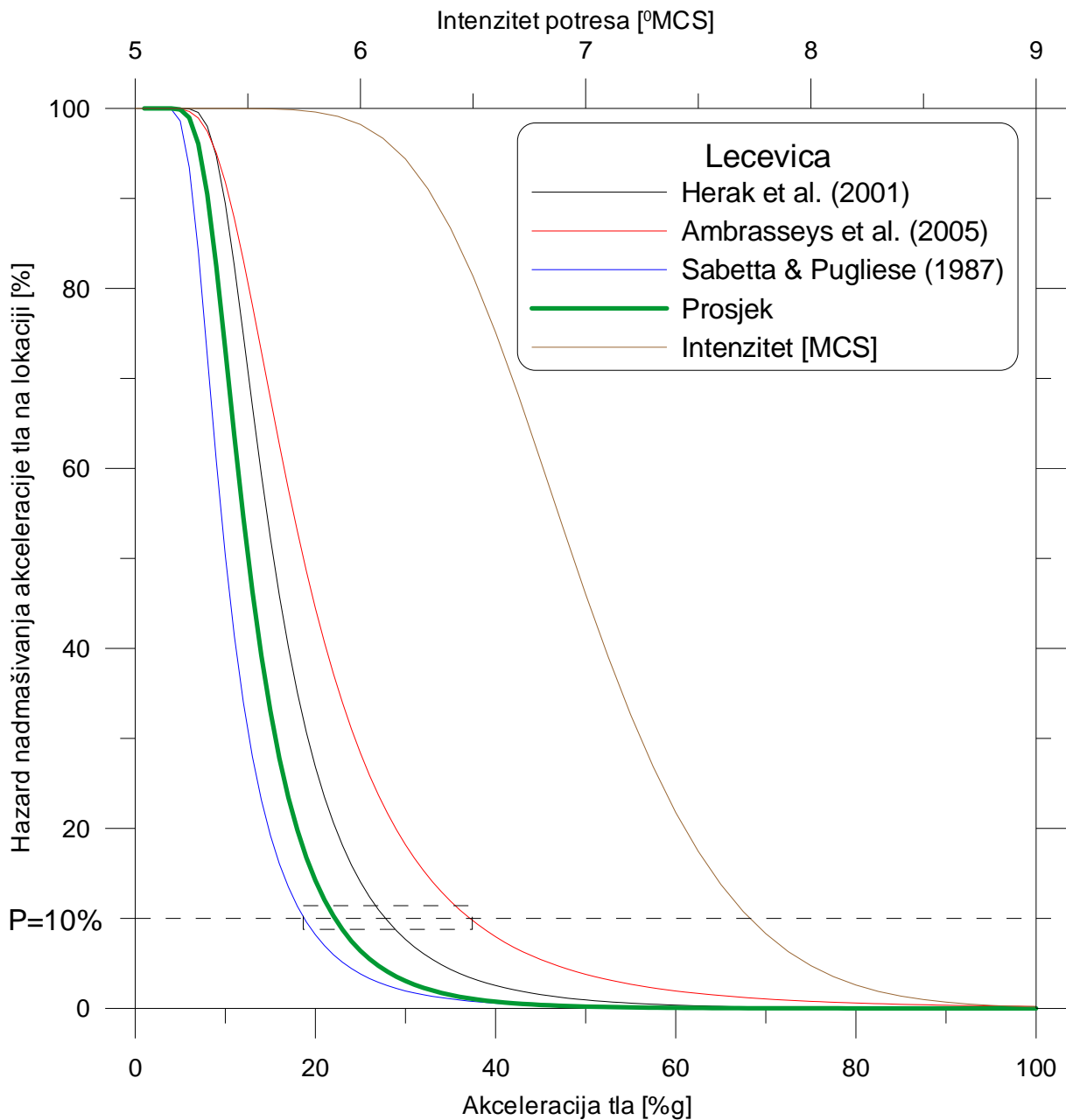
Za svaku od navedenih seizmičkih zona izračunate su vrijednosti statističkih parametara i unesene u Tab. 4.1.

Tablica 4.1 Osnovni statistički parametri za pojedine zone. N_3 je broj potresa godišnje s $M \geq 3.0$, $\sigma_{\log N_3}$ je st. devijacija $\log(N_3)$.

Seizm. Zona	B	σ_b	$N_{M=3}/\text{god}$	$\sigma_{\log N_3}$	M_{max}
1	0.96	0.25	0.20	0.06	6.1
2	0.80	0.12	0.41	0.11	6.3
3	0.72	0.12	1.10	0.25	6.5
4	0.63	0.15	1.17	0.30	6.1
5	0.90	0.15	1.45	0.36	7.0
6	0.74	0.11	0.87	0.22	6.3
7	0.72	0.72	2.42	0.60	7.0
8	0.90	0.09	0.34	0.10	6.2
9	0.5	0.12	0.31	0.05	6.3
10	0.80	0.09	0.81	0.12	5.7

4.3. Rezultati proračuna

Rezultat ovog proračuna su krivulje (Sl. 4.1) vjerojatnosti događanja maksimalne akceleracije tla (*PGA*), kao i krivulje vjerojatnosti događanja maksimalnih intenziteta I_{max} potresa na istraživanoj lokaciji, za standardni povratni period od 475 godina, te vrijednosti akceleracija i intenziteta potresa kao funkcije povratnih perioda.



Slika 4.1 Vjerojatnost događanja maksimalne akceleracije tla i maksimalnog intenziteta potresa na lokaciji

Kako je navedeno ranije, vrijednosti akceleracija i intenziteta potresa računane su dvjema metodama, no kako se dovine rezultati malo međusobno razlikuju, ovdje navodimo sumarne vrijednosti.

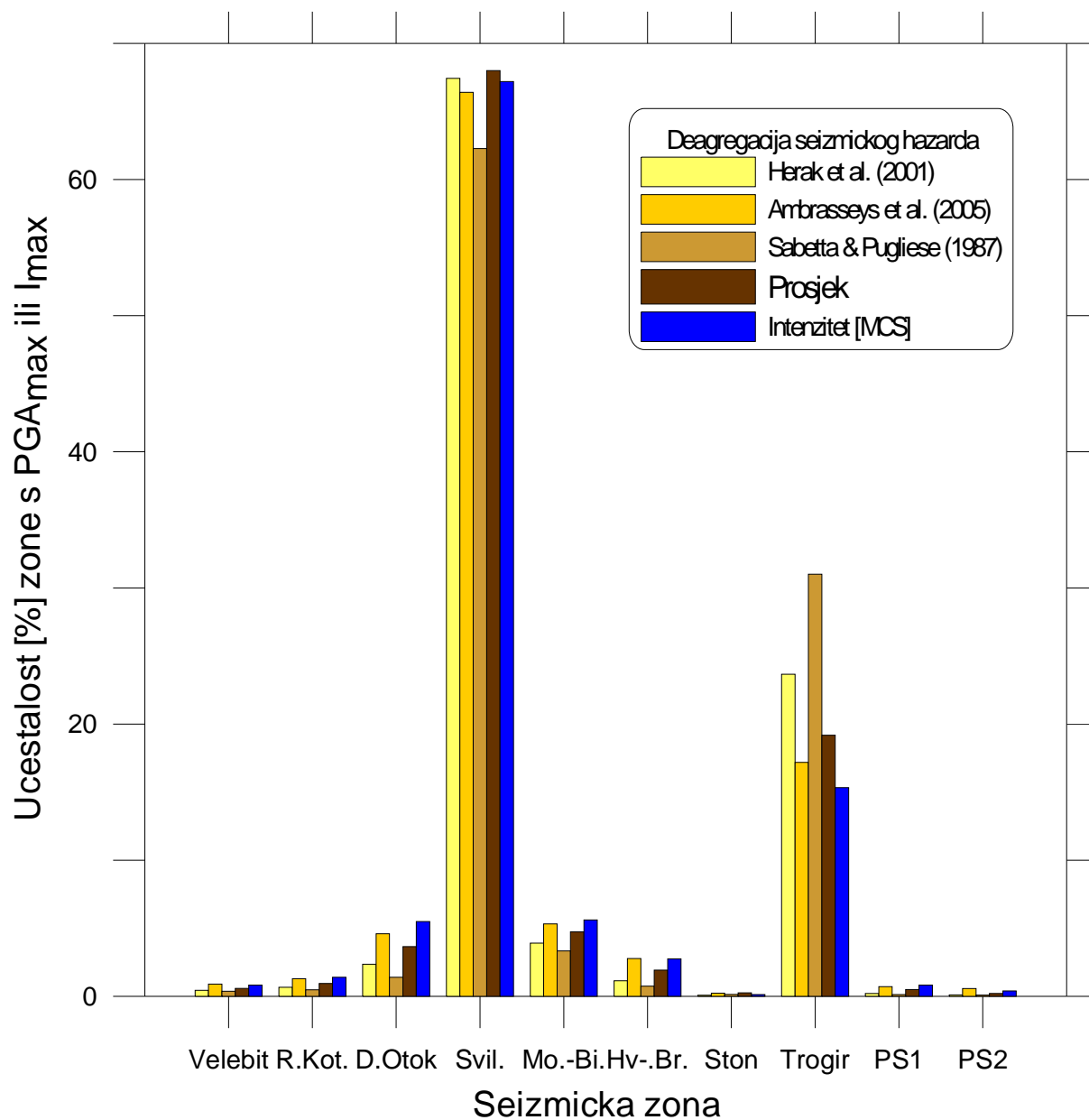
Dobivene vrijednosti horizontalnih akceleracija, te osnovnog stupnja seizmičnosti (makroseizmičkog intenziteta) I_{max} koje odgovaraju pojedinim povratnim periodima T prikazane su u Tab. 4.2.

Tablica 4.2 Iznosi akceleracija (PGA) i intenziteta (I_{max}) za niz povratnih perioda T

T [god.]	<i>Lokacija Lečevica</i>	
	<i>PGA [g]</i>	<i>I_{max} [oMSK]</i>
5	0.044	5.4
10	0.06	5.9
50	0.11	6.7
100	0.14	7.1
200	0.17	7.4
475	0.22	7.7
1000	0.27	8.0
5000	0.38	8.5
10000	0.43	8.7

4.3.1. Deagregacija rizika po seizmičkim zonama

Postupkom Monte-Carlo se može utvrditi i udio kojim pojedini seizmički izvor sudjeluje u seizmičkom hazardu izučavane lokacije (Allegretti i Herak, 2002). Na Sl.4.2 histogramom je prikazana razdioba broja potresa po seizmičkim zonama, koje su na promatranoj lokaciji mogle izazvati maksimalnu akceleraciju tla, odnosno maksimalni intenzitet unutar pojedinog modeliranog kataloga potresa. Na histogramu je vidljivo da su po utjecaju (učestalost $\geq 10\%$) na predmetnu lokaciju najznačajnije seizmičke zone Svilaje i Trogira.



Slika 4.2 Histogram udjela modeliranih maksimalnih akceleracija po pojedinoj zoni seizmičkog izvora za istraživanu lokaciju

Uočljivo je da su najveći udio (gotovo 70%) u maksimalnim akceleracijama tla na lokaciji pri proračunu seizmičkog hazarda imali potresi s epicentrom u području zone seizmičkog izvora Svilaje, a zatim sa 20-30% oni koji su imali epicentre u seizmičkoj zoni Trogira unutar koje se i nalazi sama lokacija Lećevica.

4.4. Projektne vrijednosti akceleracije i intenziteta potresa

Usvoji li se pristup da su projektne vrijednosti definirane povratnim periodom $T=475$ godina, iz Tab. 4.2 slijedi da su **projektne vrijednosti horizontalne akceleracije PGA i intenziteta I_{max}** :

<i>Lokacija</i>	<i>PGA</i> (g)	<i>I_{max}</i> (°MCS)
<i>LEČEVICA</i>	0.22	7.7

5. ZAKLJUČAK

Regionalno i lokalno područje oko lokacije odlagališta otpada seizmotektonski je aktivno. Pojavljivanje potresa ukazuje na stalno prisutnu tektonsku aktivnost. U seizmotektonski aktivnom strukturnom sklopu razmatrana lokacija nalazi se u nizu reversnih struktura Konjevrate – Unešić – Divojevići – Brštanovo (5) koji pripada strukturnoj jedinici Šibenska i Trogirska Zagora (1). Ujedno to je širi prostor dodira regionalnih strukturnih jedinica Adriatik (1) i Dinarik (2). U granicama odlagališta otpada postoji relativno veća razlomljenost stijena. Preko lokacije pruža se zona reversnog rasjeda koji graniči lokalnoj strukturi Zmajevac – Lovreč (13). Postoje i rasjedi sustava SZ–JI, te sustava SSI–JJZ do S–J.

Oko razmatrane lokacije zabilježeni su potresi koji se izravno mogu povezati s rasjedom Gornje Utore – Matasi (8) i rasjedom koji graniči lokalnoj strukturi Zmajevac – Lovreč (13). U prostoru lokacije odlagališta otpada do dubine oko 20 km događaju se potresi koji se povezuju sa zonama rasjeda graničnih strukturnim jedinicama i nizovima reversnih struktura.

Lokacija odlagališta otpada nalazi se u seizmičkom izvoru Trogir u kojem se mogu dogoditi potresi magnitude 6.2.

Vjerojatnosnim pristupom računate su akceleracije (PGA) i intenziteti (I_{max}) potresa kao funkcije povratnog perioda T . Dobivene vrijednosti prikazane su u slijedećoj tablici:

T [god.]	<i>Lokacija Lečevica</i>	
	PGA [g]	I_{max} [oMSK]
5	0.044	5.4
10	0.06	5.9
50	0.11	6.7
100	0.14	7.1
200	0.17	7.4
475	0.22	7.7
1000	0.27	8.0
5000	0.38	8.5
10000	0.43	8.7

6. LITERATURA

Aljinović, B., Prelogović, E. & Skoko, D. (1987): Novi podaci o dubinskoj geološkoj građi i seizmotektonskim aktivnim zonama u Jugoslaviji. Geol. vjesnik, 40, 225-263.

Aljinović, B., Prelogović, E. & Skoko, D. (1990): Tectonic processes on the contact of the Adriatic Platform and the Dinarides in the area of the Northern Dalmatia. Proc. of the Inter. Conf. On Mechanics of jointed and Faulted Rock., Vienna, 179-182, A. A. Balkema, Rotterdam/ Brookfield.

Anderson, H. & Jackson, J. (1987): Active tectonics of the Adriatic Region. – Geophys. J. R. Astr. Soc. 91, 937-983.

Cigrovski- Detelić, B. (1998): Primjena GPS mjerenja i geotektonskih informacija u obradi geodinamičke mreže CRODYN 94-96. Disertacija 1-145. Geodetski fak., Zagreb.

Cornell, C. A. (1968): Engineering Seismic Risk Analysis. BSS, Vol. 58.

Cvijanović, D., Prelogović, E., Kranjec, V., Skoko, D., Zagorac, Ž., Bahun, S. & Oluić, M. (1979): Seizmotektonska karta Hrvatske i susjednih područja. Geofizički zavod, Zagreb

ECCOINA (2004): Elaborat o kompleksnim geološkim istraživanjima područja Kladnjice – Lečevica. ECONIA, Zagreb.

Grünthal, G. & Stormeyer, D. (1992): The recent crustal stress field in Central Europe: Trajectories and finite element modeling. – Journ. Geophys. Res., 97/B8, 11.805-11.820.

Gumbel, E. J. (1958): Statistics of Extremes. Columb. Univ. Press, New York.

Herak, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides. – Acta geologica, 16/1, 1-42, Zagreb.

Herak, M. (1991): Dinarides. Mobilistic view of the genesis and structure. Acta geol., 21/2, 35-117, Zagreb.

Herak, Ma., Herak, D. & Markušić, D. (1995): Revision of earthquake and seismicity of Croatia, 1908-1992. Terra Nova, Vol. 8, 86-94.

Ivanović, A., Sikirica, V., Marković, S. & Sakač, K. (1977): Osnovna geološka karta, list Drniš 1:100.000, K 33-9. Inst. geol. istraž., Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd.

Jenkison, A. F. (1969): statistics of Extremes in estimation of Maximum Floods. Tech. Note No. 98, WMO, WMO-No.223, T.P. 126, Geneva.

Kapelj, J. (2002): Strukturni sklop šireg područja Promine u Sjevernoj Dalmaciji i odraz na hidrogeološke odnose. Disertacija, 1-108, PMF, Zagreb.

Karnik, V. (1971): Seismicity of the European area, Part I, Part II, Czech. Ac. Sc., Praha.

- Korbar, T., Fuček, L., Palenik, D., Matiček, D., Kuhta, M. & Stroj, A. (2006):** Geološka i hidrogeološka istraživanja na području predložene lokacije centra za gospodarenje otpadom Splitsko-dalmatinske županije kod Lečevice. HGI, Zagreb.
- Kuk, V. (1982):** O maksimalnom intenzitetu potresa. Magistarski rad, PMF, Zagreb.
- Kuk, V. & Prelogović, E. (1995):** Seizmološka i seizmotektonska istraživanja lokacije brane Peruča. Zb. Int. Konf. Sanacije brane Peruča, 177-194, Brela.
- Kuk, V., Prelogović, E. & Dragičević, I. (2000):** Seismotectonically Active Zones in the Dinarides. Geol. Croat., 53/2, 295-303, Zagreb.
- Labaš, V. (1987):** Neke specifičnosti građe podzemlja dijela centralne zone dinaridskog gravimetrijskog minimuma. Nafta, 38/10, 547-554, Zagreb.
- Lawrence, S.R., Tari- Kovačić, V. & Gjučić, B. (1995):** Geological evolution model of the Dinarides. – Nafta, 46/2, 103-113, Zagreb.
- Marinčić, S., Magoš, N. & Borović, I. (1971):** Osnovna geološka karta 1 :100.000, listovi Split i Primošten i tumač. Inst. geol. istraž., Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd.
- Marinčić, S., Korolija, B. & Majcen, Ž. (1976):** Osnovna geološka karta 1 :100.000, list Omiš i tumač. Inst. geol. istraž., Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd.
- McGuire, R. (1976):** Seismic Risk Analysis, USGS, Open File Rep., 67-76.
- Moore, E. M. & Twiss, R. J. (1999):** Tectonics, freeman and co., New York.
- Papeš, J., Marinković, R. & Raić, V. (1982):** osnovna geološka karta, list Sinj 1:100.000 K 33-10. Geoinž., Sarajevo, Inst. geol. istraž., Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd.
- Prelogović, E., Aljinović, B. & Bahun, S. (1995):** New Data on structural Relationship in the North Dalmatian Dinaride Area. Geol. Croat., 48/2, 167-176, Zagreb.
- Prelogović, E., Kuk, V., Buljan, R., Tomljenović, B. & Skoko, D. (1999):** Recent tectonic movements and earthquakes in Croatia. Geodynamics at the Alpe-Adria area by means of terrestrial stallite methods. Proc., 255-262, Zagreb – Graz.
- Prelogović, E., Pribičević, B., Dragičević, I., Buljan, R. & Tomljenović, B. (2001):** Recentni strukturni sklop prostora Dinarida. Arh. INA-Naftaplin, Zagreb, RGN fak., Zagreb.
- Prelogović, E., Pribičević, B., Dragičević, I., Buljan, R. & Kapelj, J. (2003a):** Tektonska aktivnost i klasifikacija struktura pogodnih za naftogeološka istraživanja u prostoru centralnog Jadrana i Dinarida. Arh. RGN fak., INA-Naftaplin, Zagreb.
- Prelogović, E., Pribičević, B., Ivković, Ž., Dragičević, I., Buljan, R. & Tomljenović, B. (2003b):** Recent structural fabric of the Dinarides and tectonically active zones important for petroleum-geological exploration in Croatia. Nafta, 55, (4), 155-161, Zagreb.

Pribičević, B., Medak, D. & Prelogović, E. (2004): Geodetic and geologic research of recent tectonic activity in Dinarides. Proc. EGU Symp G11 Geodetic and Geodynamic Programmes of the CEI, Nice 25-30 April 2004, 125-131, Warsaw Univ. Of Tech., Warsawa.

Ritsema, A.R. (1974): The earthquake mechanism of the Balkan region. – UNDP projekt R. 3EM, 70/172, UNESCO, Skopje.

Skoko, D., Prelogović, E. & Aljinović, B. (1987): Geological structure of the Earth's crust above the Moho discontinuity in Yugoslavia. Geophys. J.R.A.S., 89, 379-382, Cambridge.

Skoko, D. & Prelogović, E. (1988): Seismic potential of Yugoslavia territory. Proc. of the Ninth World Conf. On Earthquake Eng., August 2-9, 1988, Vol. II. 163-168, Tokyo, Kyoto.

Sponheuer, W. (1960): Methoden zur Herdtietenbestimmung in Makroseismik. Freibergere Forshung. C 88, Akad. Verlag, Berlin.

Wells, D. L. & Coppersmith, K. J. (1994): New Empirical Relationship among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement. Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 84, No. 4, 974-1002.

Zagorac, Ž. (1975): Neki rezultati magnetometrije u sklopu kompleksne geofizičke interpretacije područja Dinarida. – Nafta, 2, 61-64, Zagreb.